



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

# **i9ITS: Uma Proposta de Armazenamento de Dados Abertos e Integração de Serviços para Sistemas de Transportes Inteligentes**

Dissertação de Mestrado

Sérgio Antônio Alves Barbosa



São Cristóvão – Sergipe

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Sérgio Antônio Alves Barbosa

**i9ITS: Uma Proposta de Armazenamento de Dados Abertos e  
Integração de Serviços para Sistemas de Transportes  
Inteligentes**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

Orientador(a): Prof. Dr. Rogério Patrício Chagas do Nascimento

Coorientador(a): Prof. Dr. Douglas Dyllon Jeronimo de Macedo

São Cristóvão – Sergipe

2017

- 
- B238i      Barbosa, Sérgio Antônio Alves  
              i9ITS: Uma Proposta de Armazenamento de Dados Abertos e Integração de Serviços  
              para Sistemas de Transportes Inteligentes/ Sérgio Antônio Alves Barbosa. – São Cristóvão  
              – Sergipe, 2017-  
              90 p.  
              Orientador: Prof. Dr. Rogério Patrício Chagas do Nascimento
- Dissertação de Mestrado – UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE  
              CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
              PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO, 2017.
1. Ciência da computação. 2. Engenharia de software. 3. Sistemas inteligentes de  
              veículos rodoviários. 4. Arquitetura orientada a serviços (Computador). 5. Internet das  
              coisas. I. Nascimento, Rogério Patrício Chagas do, orient. II. i9ITS: Uma Proposta de  
              Armazenamento de Dados Abertos e Integração de Serviços para Sistemas de Transportes  
              Inteligentes.

CDU 004.41

---

**Sérgio Antônio Alves Barbosa**

**i9ITS: Uma Proposta de Armazenamento de Dados Abertos e  
Integração de Serviços para Sistemas de Transportes  
Inteligentes**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação da Universidade Federal de Sergipe como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Ciência da Computação.

Trabalho aprovado. São Cristóvão – Sergipe, 31 de Agosto de 2017:

---

**Prof. Dr. Rogério Patrício Chagas do  
Nascimento**  
Orientador

---

**Prof. Dr. Douglas Dyllon Jeronimo de  
Macedo**  
Coorientador

---

**Prof. Dr. Michel dos Santos Soares**  
Interno a instituição

---

**Prof. Dr. Nelson Souto Rosa**  
Externo a instituição

São Cristóvão – Sergipe  
2017

# Agradecimentos

Quero agradecer a todos aqueles que sempre confiaram em mim. À minha esposa Mônica, pelo apoio incondicional e constante incentivo (meu grande amor). Às minhas queridas filhas Nathalia e Nicole (minhas princesas). Aos meus pais (in memoriam), por me terem dado educação e valores e, onde quer que estejam, nunca deixarem de me amar, nem de confiar em mim. Pai e mãe, meu amor eterno, pois vocês, muitas vezes, renunciaram aos seus sonhos para que eu pudesse realizar o meu; com vocês, partilho a alegria deste momento. A todos os meus familiares, irmãos, primos, tios, sobrinhos. Aos irmãos que Deus colocou em minha vida e que escolhi para conviver: Silvio, Silvanito, Silmar, Saulo e a emergente Kátia. Seus corações estão comigo e o meu, com vocês. Em especial, agradeço ao meu irmão Dr. Silvanito, por ter sido um dos responsáveis pelo constante incentivo, e àquelas pessoas especiais que diretamente me incentivaram. A minha família e aos meus verdadeiros amigos. Dedico também ao meu orientador e coorientador Prof. Dr. Rogério Patrício Chagas do Nascimento e Prof. Dr. Douglas Dyllon Jeronimo de Macedo, pela confiança, paciência, incentivo e orientação.

*"Inovação distingue entre um líder e um seguidor."*  
(Steve Jobs)

# Resumo

Em consequência do crescimento populacional, as grandes cidades enfrentam problemas cotidianos relacionados à mobilidade urbana, tais como: congestionamentos e ineficiência de transportes públicos. Iniciativas de sistemas de transportes inteligentes (ITS) agem como uma solução eficiente para melhorar o funcionamento e desempenho dos sistemas de tráfego, reduzindo congestionamentos de veículos e aumentando a segurança para os cidadãos. No entanto, devido à existência de diferentes formatos e fontes distribuídos de informação sobre mobilidade urbana, a interoperabilidade das várias tecnologias envolvidas e a retenção desses dados são desafios que envolvem esforços complexos e onerosos para os governos e empresas. Nesse contexto, a presente proposta tem como objetivo geral apresentar uma solução para dados georreferenciados de ITS (*Intelligent Transportation System*) com o intuito de armazenar, integrar e orquestrar essas informações georreferenciadas de mobilidade urbana de forma que permita a interoperabilidade entre diversas aplicações. Foram relacionados dois estudos de caso; um refere-se à construção de uma aplicação que utiliza a solução i9ITS para uma empresa de serviço de táxi com dados reais. O segundo estudo de caso propõe a construção de um laboratório de teste utilizando um maior número de veículos, com o objetivo de alimentar informações para uma base de dados aberta, de forma que a solução proposta possa ser testada quanto ao seu desempenho. A utilização dessa solução tem como objetivo principal demonstrar a eficácia e a eficiência para atender ao problema proposto, bem como para outras possibilidades e desafios relacionados a ITS.

**Palavras-chave:** Cidades Inteligentes, Sistemas de Transportes Inteligentes, Arquitetura Orientada a Serviços, Internet das Coisas, Dados Abertos, Redes Móveis Veiculares.

# Abstract

As a result of population growth, large cities face problems related to urban mobility, such as: congestion and inefficiency of public transport. Intelligent Transportation System (ITS) initiatives act as an efficient solution to improve the functioning and performance of traffic systems, reduce vehicle congestion and increase safety for citizens. However, the solution of diffusing different formats and distributed sources of information on urban mobility, interoperability of the various technologies involved and data retention are challenges that involve complex and costly efforts for governments and enterprises. In this context, a proposed present as a solution for geo-referenced ITS data in order to store, integrate and orchestrate this geo-referenced urban mobility information in a way that allows interoperability among several applications. Two case studies were related; One about building an application that uses a solution for a taxi service company with real data. The second case study proposes to construct a test laboratory, use a larger number of vehicles, with the objective of feeding information to an open database, in order to a solution proposed to be tested for its performance. The use of this solution has as main objective to demonstrate the effectiveness and a solution to attend to the proposed problem, as well as to other possibilities and challenges related to ITS.

**Keywords:** Intelligent Cities, Intelligent Transportation Systems, Service Oriented Architecture, Internet of Things, Open Data, Vehicular Ad Hoc Networks



# Lista de ilustrações

Figura 1 – Imagem do Trânsito, Cidade do México . . . . .	15
Figura 2 – Número de publicações nos últimos 10 anos. . . . .	22
Figura 3 – Arquitetura Orientada a Serviço. . . . .	29
Figura 4 – Etapas para aplicação de SOA. (ENDREI et al., 2004) . . . . .	30
Figura 5 – Uma representação de alto nível da conectividade fornecida pela arquitetura Enterprise Service Bus. (CHAPPELL, 2004) . . . . .	31
Figura 6 – <i>Open Data</i> informações de relacionamentos. (JAMES, 2016) . . . . .	33
Figura 7 – Modelo do VCN. (LI, 2011) . . . . .	36
Figura 8 – Serviços ITS - Hierarquia de definições para a “Arquitetura de referência ITS”. . . . .	39
Figura 9 – Solução i9ITS. . . . .	42
Figura 10 – Exemplo de arquivo de amostra padrão NMEA. . . . .	43
Figura 11 – Especificação API RESTful. Fonte: Swagger . . . . .	44
Figura 12 – DER (Diagrama Entidade Relacionamento). . . . .	46
Figura 13 – Processo de execução no <i>ESB Mule Standalone</i> . . . . .	50
Figura 14 – <i>Screenshot</i> do sistema de monitoramento de táxi. . . . .	55
Figura 15 – Replicação de dados dos fornecedores para a base Smart Cities. Fonte: Autores . . . . .	57
Figura 16 – Duração média de solicitações que ocorreram entre a app georreferenciamento e a solução i9ITS. (Fonte: Autores) . . . . .	59
Figura 17 – Taxa de Requisição de sucesso e falha que ocorreu entre o aplicativo de georreferenciamento e a solução i9ITS (Fonte: Autores) . . . . .	60
Figura 18 – Cálculo da amostra. Fonte: (SANTOS, 2017) . . . . .	61
Figura 19 – Tempo médio de requisições por faixa de veículos (Fonte: Autores) . . . . .	63
Figura 20 – Número de requisições por faixa de veículos (Fonte: Autores) . . . . .	64
Figura 21 – Boxplot A250 veículos . . . . .	65
Figura 22 – Boxplot A500 veículos . . . . .	65
Figura 23 – Boxplot A750 veículos . . . . .	65
Figura 24 – Boxplot A1000 veículos . . . . .	65
Figura 25 – Boxplot comparativo das faixas de veículos . . . . .	66
Figura 26 – Teste com 250 veículos (Fonte: Autores) . . . . .	67
Figura 27 – Teste com 500 veículos (Fonte: Autores) . . . . .	67
Figura 28 – Teste com 750 veículos (Fonte: Autores) . . . . .	68
Figura 29 – Teste com 1000 veículos (Fonte: Autores) . . . . .	68
Figura 30 – Histograma de frequência (250 veículos). . . . .	70

Figura 31 – Histograma de frequência (500 veículos). . . . .	70
Figura 32 – Histograma de frequência (750 veículos). . . . .	70
Figura 33 – Histograma de frequência (1000 veículos). . . . .	70

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Resultados da quantidade de artigos selecionados pelos métodos do protocolo.	22
Tabela 2 – Comparação dos trabalhos relacionados . . . . .	25
Tabela 3 – Entidade OBI_OBJECTID . . . . .	46
Tabela 4 – Entidade MOB_MOVE_OBJECT . . . . .	46
Tabela 5 – Parte da estrutura dos domínios e grupos do serviço ITS . . . . .	52
Tabela 6 – Configuração dos servidores envolvidos no estudo de Caso . . . . .	53
Tabela 7 – Exemplo de dados georreferenciados de um veículo. . . . .	56
Tabela 8 – Coleta de dados realizada para análise da eficiência da solução i9ITS aplicada no estudo de Caso. . . . .	58
Tabela 9 – Configuração dos equipamentos clientes envolvidos no processo de avaliação	62
Tabela 10 – Tabela comparativa . . . . .	66
Tabela 11 – Resultado do teste KS. . . . .	68
Tabela 12 – Análise do coeficiente de variação das latências das amostras. . . . .	69

# Lista de abreviaturas e siglas

API	Application Programming Interface
ESB	Enterprise Service Bus
GQM	Goal Question Metric
GPS	Global Positioning System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
ITS	Intelligent Transportation System
JDBC	Java Database Connectivity
JSON	JavaScript Object Notation
NMEA	National Marine Electronics Association
REST	Representational State Transfer
RDF	Resource Description Framework
SOA	Service Oriented Architecture
SOAP	Simple Object Access Protocol
VCC	Vehicular Cloud Computing
VANETs	Veicular Ad Hoc Networks
UDDI	Universal Description, Discovery and Integration
URI	Uniform Resource Identifier
WSN	Wireless Sensor Networks
WSDL	Web Services Description Language
XML	Extensible Markup Language

# Sumário

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>14</b>
1.1	Contexto	14
1.2	Descrição do problema e justificativa	15
1.2.1	Hipótese	16
1.2.2	Proposta	17
1.2.3	Delimitação de escopo	17
1.3	Objetivo geral	17
1.4	Objetivos específicos	18
1.5	Metodologia	18
1.5.1	Revisão Sistemática da Literatura	19
1.5.1.1	Questões de pesquisa	19
1.5.1.2	Critérios de seleção de fontes	20
1.5.1.3	Critérios de inclusão	20
1.5.1.4	Critérios de exclusão	20
1.5.1.5	Busca	20
1.5.1.6	Resultado da revisão sistemática	21
1.5.1.7	Trabalhos relacionados	22
1.6	Organização do Trabalho	26
<b>2</b>	<b>Fundamentação Teórica</b>	<b>27</b>
2.1	Arquitetura orientada a serviços (SOA)	27
2.1.1	ESB (Enterprise Service Bus)	30
2.2	Sistemas de Transportes Inteligentes (ITS)	31
2.3	Open Data	32
2.4	Internet das Coisas (IoT)	33
2.5	Redes Móveis Veiculares (VANETs)	34
2.6	Normas ISO relacionadas ao Trabalho	36
2.6.1	ISO 12.859	36
2.6.2	ISO 14.813-1:2015	37
<b>3</b>	<b>A Solução i9ITS</b>	<b>40</b>
3.1	Visão geral da solução	40
3.2	Requisitos da solução	40
3.3	Diagrama da solução	41
3.3.1	Componentes da solução i9ITS	42
3.4	Softwares e ferramentas utilizadas na solução i9ITS	47

3.4.1	PostgreSQL (PostGIS)	47
3.4.2	Mule ESB	47
3.4.3	Swagger	47
3.4.4	D2RQ	48
3.4.5	Eclipse IDE	48
3.5	Processo de execução da solução i9ITS	48
3.6	A utilização da ISO 14813 na solução i9ITS	51
<b>4</b>	<b>Avaliação da solução i9ITS</b>	<b>53</b>
4.1	Estudo de Caso I	53
4.1.1	Preparação	53
4.1.2	Execução	54
4.1.3	Validação	54
4.1.4	Análise dos Resultados Obtidos	56
4.1.4.1	Análise da eficácia	56
4.1.4.2	Análise da eficiência	57
4.2	Estudo de caso II	61
4.2.1	Planejamento	61
4.2.2	Coleta de dados	62
4.2.3	Análise dos Resultados Obtidos	64
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>71</b>
5.1	Sobre os Experimentos	71
5.2	Contribuições	72
5.3	Publicações	73
5.4	Trabalhos Futuros	73
	<b>Referências</b>	<b>75</b>
	<b>Apêndices</b>	<b>78</b>
	<b>APÊNDICE A EATIS-B3</b>	<b>79</b>
	<b>APÊNDICE B ICWMC-B3</b>	<b>86</b>

# 1

## Introdução

### 1.1 Contexto

Atualmente o tema Cidades Inteligentes já se consolidou como assunto fundamental na discussão global sobre o desenvolvimento sustentável e movimenta um mercado global de soluções tecnológicas. Predominantemente associada aos conceitos de *smart* e *intelligent cities*, que são muitas vezes utilizados como sinônimos (WOLFRAM, 2012), pesquisas centralizadas ligadas à inteligência das cidades têm sido uma grande tendência, pois representam importantes desafios para a gestão pública em função das perspectivas globais sobre a dramática aglomeração urbana. Projeções da Organização das Nações Unidas (ONU) indicam que 54 % da população mundial vive em áreas urbanas, uma proporção que se espera que venha a aumentar para 66 % no ano de 2050. As projeções mostram que a urbanização associada ao crescimento da população mundial poderá trazer mais 2,5 milhões de pessoas para as populações urbanizadas em 2050, com quase 90 por cento do crescimento centralizado na Ásia e África, com base no novo relatório das Nações Unidas (ONU, 2014). De acordo com os autores Kuikkaniemi et al. (2011), as cidades inteligentes ganham espaço e se apresentam como um caminho viável, como foi observado em estudos que apontam para a utilização das tecnologias num contexto urbano.

Com o crescimento urbano e a consequente evolução das sociedades, a conectividade assume um papel fundamental nessa interação global e digital, em que a necessidade de agilidade e eficiência dos serviços e de acesso às informações são fatores essenciais. A conectividade inerente às cidades inteligentes abre uma fronteira bastante promissora no que se refere ao controle de acesso às informações (LI, 2011) (ZHU; LIU, 2015) e arquiteturas distribuídas para sistemas inteligentes de transporte (TEAM, 2001).

Segundo Carvalho et al. (2010), um dos problemas dos centros urbanos, nos dias atuais, é a mobilidade urbana. Os reflexos sobre o transporte urbano são evidentes, caracterizados

principalmente pelo aumento do tráfego nas vias das cidades e consequente aumento das situações de congestionamento. Os congestionamentos são uma grande preocupação como mostra a Figura 1 (LOSILLA et al., 2011). Somente nos EUA, o congestionamento representa 115 bilhões de dólares em custos de combustível (TTI, 2014), com números semelhantes em outros países desenvolvidos. Nesse contexto, os Sistemas de Transporte Inteligentes visam melhorar a eficiência e a segurança dos transportes, por meio do uso básico de processamento de informação, comunicação e, controle, bem como, do uso de novas tecnologias.



Figura 1 – Imagem do Trânsito, Cidade do México

(RENYERE, 2016)

De acordo com os autores Nasim e Kassler (2012), um Sistema de Transporte Inteligente (ITS) é definido como uma aplicação de sensores, computadores, dispositivos eletrônicos e tecnologias de comunicação e gerenciamento estratégico integrado visando melhorar a segurança e a eficiência do sistema de gerenciamento de tráfego.

Para ajudar a minimizar os problemas dos grandes centros urbanos em seus domínios específicos, surge a necessidade de soluções tecnológicas que converjam para a iniciativa de cidades inteligentes (DINIZ; SILVA; GAMA, 2015). Segundo Naphade et al. (2011), várias ações já estão em curso nesse sentido a exemplo do modelo de sustentabilidade aplicado em Dubuque, no estado americano Iowa; em Seul, na Coreia do Sul; e no centro de operações da prefeitura do Rio de Janeiro.

## 1.2 Descrição do problema e justificativa

É natural que, com o passar do tempo, a dinâmica dos ITS se modifique e os modelos de *softwares* se adaptem às necessidades de cada geração. Sendo assim, estudos voltados para ITS



são pertinentes e seguem em constante atualização.

Existem diversos tipos de sensores, de diversas marcas com soluções “tudo-em-um”, como os externos que são ligados por cabo ou ainda por *bluetooth*, e celulares modernos (*smartphones*), que possuem sensores integrados e acessíveis através de seus próprios aplicativos. Sendo assim, como propor uma solução que seja capaz de receber dados de diversas fontes de tal maneira que possibilite padronizar e armazenar os formatos existentes? Além disso, como permitir que tais informações armazenadas sejam disponibilizadas num modelo de serviços para dados abertos?

A maior parte da população mundial vive em cidades e a atual infraestrutura e quantidade de recursos podem não atender à demanda, cujo padrão é um enorme desperdício de recursos em todas as áreas, por exemplo, em transportes: táxis, carros, ônibus, trens, metrô, barcos, semáforos. Em geral, até mesmo as cidades planejadas têm seu planejamento rapidamente atropelado pelo crescimento populacional, fato este que leva grande parte das metrópoles às condições de saturação. Tudo é uma questão de tempo para que outras cidades também cresçam e sofram com os mesmos problemas (ONU, 2014).

Com a constante evolução das cidades, diversas iniciativas de sistemas de transportes inteligentes têm surgido, assim como a necessidade de proporcionar arquiteturas que sejam capazes de coletar, integrar e disponibilizar as fontes de informações geradas por tais sistemas. Otimizar o uso de recursos e da infraestrutura utilizando Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) tem sido o objetivo principal neste assunto como forma de melhorar a qualidade de vida da população e a sua sustentabilidade. Entretanto, é fato perceber que uma grande quantidade de dados será coletada por diversos domínios de aplicações que sempre estarão a serviço da comunidade, entre eles: transporte público, privado, trânsito, saúde, educação, energia elétrica e coleta de lixo.

Para minimizar esses desafios, surge a necessidade de construção de plataformas de *software* necessárias para facilitar o desenvolvimento e a integração desses domínios. Sendo assim, nota-se a importância de utilizar tecnologias que permitam auxiliar na solução dos principais desafios relacionados à mobilidade urbana, tornando as cidades cada dia mais inteligentes.

### 1.2.1 Hipótese

É possível criar uma plataforma aberta, flexível e extensível capaz de permitir armazenamento e a disponibilização de dados georreferenciais abertos oriundos de aplicações de fornecedores, por meio de uma solução de *software* disponibilizada em nuvem, de forma que seja capaz de atender aos requisitos mínimos de eficácia e eficiência?

### 1.2.2 Proposta

A utilização de dados abertos, assim como o uso de *Service-Oriented Architecture* (SOA) são possíveis abordagens que auxiliam no problema de integração de dados. A primeira abordagem, dados abertos, são entendidos como dados que podem ser livremente usados por qualquer pessoa. Vale ressaltar que iniciativas de dados abertos estão sendo realizadas pelos governos em todos os níveis, com intuito de aumentar a transparência, capacitar adequadamente os cidadãos, fomentar inovações e reformar os serviços públicos (LI, 2011). Essas iniciativas convergem com as cidades inteligentes e diversas soluções já são realidade em cidades como Nova York, Amsterdam, Helsink, Chicago, Barcelona, Quebec City, Rio, Dublin, Nairobi e Manchester (LI, 2011). A segunda abordagem, o uso do padrão SOA, vem evoluindo e está cada vez mais presente em aplicações nos mais diversos segmentos, sejam eles em nível de dispositivo, na implementação de camadas de negócios ou mesmo no setor industrial e de soluções governamentais.

Portanto, em ITS, o foco em fonte de dados abertos reflete uma tendência de mercado, pois com o aumento da conectividade entre veículos, organizações, sistemas e pessoas, quantidades inéditas de dados estão sendo geradas. Novos métodos para coletar, transmitir/transportar, classificar, armazenar, compartilhar, agregar, fundir, analisar e aplicar esses dados serão necessários para gerenciamento e operações de sistemas de transporte. No que se refere a SOA, em ITS, a arquitetura tem sido amplamente utilizado para integração de informações em centrais de tráfego, bem como na integração de serviços em transportes públicos. Com a utilização de SOA, um recurso ou componente é identificado como um serviço. Cada entidade apresenta comportamento bem definido e é composta por módulos autocontidos, os quais permitem que um determinado serviço seja independente do estado ou contexto de outros serviços (PAPAZOGLU, 2007).

### 1.2.3 Delimitação de escopo

Esse estudo não pretende esgotar todas as possibilidades quanto ao uso de métricas de desempenho de *software*, mas sim utilizar mecanismos estatísticos básicos de medição para validar a solução proposta. Logo, este trabalho limitou-se em demonstrar o uso da solução como mecanismo de suporte para a coleta, integração e disponibilização de dados georreferenciais no formato de dados abertos. O escopo desta pesquisa foi realizado por meio de dois estudos de casos, em que os resultados obtidos de ambos foram analisados tomando como base critérios básicos de qualidade.

## 1.3 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho é desenvolver e validar uma solução de *software* baseada em estudos experimentais, num âmbito de Sistemas de Transportes Inteligentes com ênfase em arquitetura orientada a serviço, sob uma abordagem de dados abertos (*open data*)

compartilhados e organizados em conformidade com normas relacionadas de privacidade e taxonomia em ITS.

## 1.4 Objetivos específicos

Para definir o objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Planejar um modelo de solução baseado em um barramento de serviços que permita o armazenamento de dados e a interoperabilidade de aplicações.
- Desenvolver o modelo de solução utilizando ferramentas e linguagens de programação no contexto de *softwares* livres.
- Realizar testes no âmbito experimental e real de modo a avaliar a eficácia e a eficiência da solução.
- Utilizar mecanismos para promover dados abertos de maneira que as informações armazenadas sejam livremente reutilizadas e redistribuídas em conformidade com a ISO 12859.
- Organizar os serviços sobre um barramento de ITS em conformidade com a ISO 14813, como norma descritiva comum no contexto de taxonomias.

## 1.5 Metodologia

Esta seção aborda a metodologia seguida para atingir os objetivos da pesquisa proposta nesta dissertação. Para que os objetivos pudessem ser alcançados, foi feito um protocolo de revisão sistemática da literatura relacionada, incluindo artigos de conferências, periódicos e especificações. Foram também pesquisados sites de artigos científicos e anais relacionados ao tema para uma exposição mais atual sobre o estado da arte em torno do assunto.

Em um segundo momento, foi realizada uma revisão na literatura com o intuito de analisar os trabalhos selecionados e relevantes que pudessem auxiliar no desenvolvimento da solução proposta.

O próximo passo foi realizar uma pesquisa bibliográfica sobre tecnologias e normas relacionadas à proposta da solução. Após essas pesquisas preliminares, iniciou-se um estudo sobre as tecnologias envolvidas e o modo como as mesmas poderiam ser implementadas, computacionalmente, utilizando-se dos seus conceitos principais.

Com essa primeira etapa vencida, ficou estabelecido que se projetaria e que se construiria uma solução capaz de armazenar dados georreferenciados e de permitir a integração de diversas fontes, de forma a proporcionar que tais dados fossem disponibilizados sob uma visão *open data*.

Para a formação da solução proposta, foi utilizado um conjunto de ferramentas no contexto de *softwares* livres. O paradigma de programação a ser utilizado foi o modelo orientado a objetos, e a linguagem de programação foi *Java*, devido a aspectos intrínsecos considerados importantes, por exemplo, a segurança e portabilidade entre plataformas.

Após definida a solução, foram realizados dois experimentos. O primeiro experimento foi um estudo de caso prático em que, por meio da utilização de dados georreferenciados fornecidos por uma central de serviço de táxi, foi medida a eficácia e a eficiência da solução. O segundo foi um estudo de caso experimental no qual se avaliou a solução, simulando-se um cenário em laboratório com um maior número de sensores lógicos, objetivando-se medir a aplicabilidade da proposta por meio do modelo GQM (*Goal Question Metric*).

Com a experiência adquirida nos experimentos, as métricas e as técnicas de avaliação desta pesquisa tiveram como fator principal o tempo de processamento de cada requisição enviada ao servidor, como também, a quantidade de requisições persistidas na base de dados. Para os dois experimentos, foi utilizada a mesma infraestrutura de *software* e *hardware*. Em seguida a realização dos resultados obtidos foi elaborada uma conclusão, indicando contribuições e sugerindo trabalhos futuros.

## 1.5.1 Revisão Sistemática da Literatura

Esta seção contém o Protocolo de Revisão Sistemática (PRS), cujo foco das buscas concentrou-se na identificação das pesquisas que apresentam propostas relacionadas a arquiteturas ITS em cidades inteligentes. O PRS teve início em 01 de outubro de 2015 e foi finalizado em 30 de novembro de 2016, e tomou como base as diretrizes originais encontradas ([KITCHE-NHAM, 2010](#)). Vale ressaltar que o intervalo do PRS teve uma duração mais prolongada, pois foi levado em consideração o trabalho de pesquisa realizado que resultou num artigo publicado no ano de 2015. Logo, para dar continuidade a este trabalho, no ano seguinte, o protocolo foi revisado e estendido.

### 1.5.1.1 Questões de pesquisa

Foram definidas duas perguntas a serem utilizadas para a busca dos trabalhos:

Q1: Quais são as arquiteturas de *softwares* utilizadas para ITS baseado em SOA que permitem integrar ou compartilhar serviços e dados?

A questão 1 é necessária para que sejam descobertos modelos de arquiteturas com foco em ITS como alternativas para serviço da mobilidade urbana.

Q2: Quais são as arquiteturas de *softwares* utilizadas para ITS e baseada em SOA que permitem integrar ou compartilhar serviços e dados no formato *open data*?

A questão 2 é necessária para que sejam descobertas evidências da existência de práticas

de dados abertos sobre ITS em modelos de arquiteturas baseados em SOA.

Com essas questões, buscou-se encontrar publicações que relatem experiências na resolução de problemas relacionados a ITS. Com isso, foi possível direcionar os estudos para o planejamento e construção da proposta da solução denominada i9ITS.

#### 1.5.1.2 Critérios de seleção de fontes

Os critérios de seleção são utilizados para avaliar cada estudo recuperado a partir das fontes de pesquisa.

- Ferramentas de busca através de palavras-chave;
- Consulta dos artigos disponíveis através da web;
- Artigos publicados nos últimos 10 anos (entre 2006 e 2016).

#### 1.5.1.3 Critérios de inclusão

Os critérios de inclusão utilizados para os estudos relevantes foram:

- Artigos disponíveis na web;
- Devem apresentar trabalhos sobre arquitetura de *software* baseada em SOA e/ou *open data*;
- Os artigos encontrados devem apresentar textos completos dos estudos em formato eletrônico;
- Devem estar escritos em português ou inglês.

#### 1.5.1.4 Critérios de exclusão

Os critérios de exclusão foram:

- O estudo primário não apresenta o seu texto completo disponível;
- Nos artigos devem ser abordadas arquiteturas baseadas em SOA utilizadas na resolução de problemas da ITS.

#### 1.5.1.5 Busca

O processo de pesquisa foi uma busca a fontes acessadas na *web*. Portanto, a consulta manual foi descartada.

Foram considerados os termos mais comuns encontrados em publicações que abordam o tema “Arquiteturas orientadas a serviços e que utilizam dados abertos com foco em ITS (*Intelligent Transport System*) ou cidades inteligentes”.

A pesquisa foi realizada entre os anos de 2006 e 2016, por meio do Google Acadêmico e em dois dos mais conceituados repositórios de artigos existentes: IEEE Xplore (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) e o ACM Digital Library (*Computing Classification System*)

Para estabelecer a estratégia de busca, inicialmente, foram identificadas as palavras-chave “*Smart Cities*” e/ou “*Intelligent transport System*” e “*SOA*” ou “*Architecture*” ou “*Open data*”. Depois, foram identificados sinônimos para essas palavras-chave utilizando-as somente na pesquisa por título.

A *string* de busca final foi:

***(Smart City OR Smart Cities OR Smart Grid OR Intelligent Transport System) AND (SOA OR Architecture OR Open Data)***

#### 1.5.1.6 Resultado da revisão sistemática

A condução da revisão sistemática foi realizada seguindo os critérios adotados anteriormente e desenvolvido por cinco alunos do curso de mestrado membros da equipe de pesquisa. Dois dos pesquisadores ficaram responsáveis por fazer a busca e realizar uma primeira verificação. Aplicada a *string* de busca, foram encontrados 392 artigos, distribuídos da seguinte forma: ACM (121) e IEEE (271). Cada artigo encontrado no processo de busca foi analisado por três pesquisadores quanto a sua relação com as questões de pesquisa. Por fim, todos os membros juntos iniciaram o processo de inclusão e exclusão, satisfazendo, assim, os papéis mais relevantes de uma RSL ([KITCHENHAM, 2010](#)).

Após a aplicação dos métodos de seleção dos trabalhos, definidos previamente no protocolo de revisão foi elaborado um gráfico, compreendendo o período entre o ano de 2006 e o de 2016, exibido na Figura 2, o qual mostra a quantidade de artigos encontrados de acordo com o ano de publicação. A Figura 2, mostra que nos primeiros anos houve pouquíssimas publicações. É válido lembrar que a pesquisa abordou um tema no meio acadêmico bastante recente, porém é notório que houve um crescimento evolutivo a partir de 2010.

Ainda na Figura 2, percebe-se que os trabalhos apresentaram-se em maior número de publicações entre 2013 e 2014, havendo uma queda na publicação em 2015 e retomando a média em 2016. Logo, nota-se, por meio do gráfico, uma perspectiva de crescimento em pesquisas relacionadas ao tema nos próximos anos.

A Tabela 1 exibe os métodos que foram utilizados no protocolo e suas respectivas

pesquisas realizadas nas bases “ACM” e “IEEE”, com a quantidade de artigos encontrados. A coluna intitulada “TOTAL”, apresenta a soma da quantidade dos trabalhos encontrados em todo o processo.

Após a consulta das *strings* de busca, o primeiro filtro aplicado pelos pesquisadores foi reduzir o período dos estudos para os últimos 5 anos (entre 2011 e 2016) em função da sua relevância. Em seguida, foram aplicados os critérios de inclusão dos estudos relevantes, a seleção para leitura dos resumos e a exclusão dos critérios consequentemente. Após o último método aplicado de exclusão, os artigos foram selecionados e lidos na íntegra. Os revisores foram encarregados de fazer as considerações sobre os resultados observados nos estudos selecionados.

Métodos do Protocolo	ACM	IEEE	Total
Após a consulta das strings de busca	121	271	392
Entre 2011 e 2016	114	245	359
Após os critérios de inclusão	39	95	134
Após a leitura dos resumos	8	15	23
Após os critérios de exclusão	2	6	8

Tabela 1 – Resultados da quantidade de artigos selecionados pelos métodos do protocolo.

Depois da aplicação da seleção do protocolo, foram encontrados os trabalhos (DINIZ; SILVA; GAMA, 2015), (HERRERA-QUINTERO et al., 2012), (LI, 2011), (BRAVO-TORRES et al., 2014), (NASIM; KASSLER, 2012), (CHANGYU; JIANYONG; ZHENG, 2010), (CHICAGO, 2017) e (CHEN et al., 2012)



Figura 2 – Número de publicações nos últimos 10 anos.

### 1.5.1.7 Trabalhos relacionados

Os modelos de arquiteturas propostos nesta seção por pesquisadores foram relacionados em função do contexto abordado de ITS em cidades inteligentes. Grande parte dos trabalhos

selecionados utiliza SOA para integração de informações e interoperabilidade à serviço da mobilidade urbana.

Os autores [Diniz, Silva e Gama \(2015\)](#) propõem uma arquitetura de referência, utilizando componentes de prateleira (*off-the-shelves*), que implementam uma plataforma de *middleware* para soluções de *crowdsensing* em cidades inteligentes. A solução proposta tem como características: ser configurável para vários domínios, utilizar processamento de eventos complexos para análise de dados em tempo real, integrar sensores através de serviços (implementando SOA, através de *webservices RESTful* utilizando o JSON) e de mensagens assíncronas (utilizando arquitetura orientada a eventos - EDA), bem como também da utilização de sensores humanos através do uso de *crowdsensing*. Os pesquisadores construíram uma aplicação Android de registro de acidentes de trânsito de bicicleta para a realização de experimentos no intuito de verificar a resistência e estabilidade da abordagem proposta, e após os testes realizados concluíram que os resultados foram satisfatórios. No entanto, este trabalho depende exclusivamente do compartilhamento de dados através de um aplicativo participativo, que envolva a população na coleta de informações.

[Herrera-Quintero et al. \(2012\)](#) utilizam as tecnologias WSN (*Wireless Sensor Networks*) e SOA para a criação de uma aplicação de ITS. A aplicação consiste na localização de vagas desocupadas de um estacionamento na Universidade de Alicante (Espanha). Os autores mencionam que SOA tem sido utilizada para integração de informações em centrais de tráfego, bem como na integração de serviços em transportes públicos, e ressaltam que ambas as tecnologias foram apresentadas como soluções adequadas para ITS. A combinação dessas tecnologias obteve melhores resultados com relação à segurança, sendo possível a utilização em outras aplicações de ITS, como gestão de tráfego, transportes públicos, gerenciamento de frotas, entre outras. Apesar de a pesquisa ter demonstrado eficácia quanto à viabilidade, o estudo restringiu-se à aplicação num âmbito de ITS relacionado a um determinado segmento: vagas desocupadas, porém com possível aplicabilidade em outros domínios de cidades inteligentes, como a segurança.

[Li \(2011\)](#) projeta um sistema de TIS (*Travel Information Service*) distribuído baseado em SOA que permite provedores de serviços (empresas de ônibus, metrô, trem, postos de gasolina) compartilharem e reterem seus próprios recursos na plataforma. Esse sistema consiste em quatro partes: viajante, plataforma integrada, registro TIS e o provedor de serviço. O viajante não mais solicitará as informações aos provedores de serviço diretamente, e sim para a plataforma integrada. A plataforma é responsável pela identificação de necessidade do usuário para transformá-la em um determinado tipo de serviço para atender a demanda do viajante. Em seguida, a plataforma irá invocar os serviços apropriados e sintetizar os resultados de resposta para o viajante. Foi realizada uma simulação solicitando um serviço na cidade de Pequim. É perceptível que essa abordagem possui como foco apenas os serviços públicos de transporte.

Os autores [Bravo-Torres et al. \(2014\)](#), apresentaram uma abordagem para superar os desafios das limitações derivadas da mobilidade dos veículos e permitir sua colaboração emulando



uma infraestrutura de nós virtuais. Foi proposta e demonstrada uma arquitetura com os principais procedimentos juntamente com os resultados de simulações do modelo de serviço *vehicular cloud computing* (VCC) conhecida como Rede como Serviço (NAAS). Esse trabalho permitiu a visualização de uma rede confiável de nós virtuais estacionárias, resultante da colaboração de veículos em movimento.

Nasim e Kassler (2012) fizeram uma arquitetura baseada em SOA que integra três subsistemas diferentes em tempo real com informações de passageiros utilizando uma plataforma de *software* aberto. *MobiGuider\_ITS*, é um módulo de sistema de transporte inteligente que suporta planejamento de rotas dinâmicas e agendamento inteligente de veículos através de assistência ao condutor, rastreamento de veículos e pontualidade, apresentação de relatórios, gerenciamento de dados, controle de operações, etc. *MobiGuider\_AFC* lida com todos os serviços relativos *e-ticketing*, tais como vendas, pagamento de tarifa, inspeção, gestão de cartões, etc. *MobiGuider\_RTPI* fornece serviços para processar e publicar informações em tempo real sobre as viagens, tais como informações sobre a viagem, desvio de informação, etc. *MobiGuider* inclui duas partes principais: computador de bordo e central de controle de tráfego. O computador de bordo controla todos os equipamentos num veículo e permite que ele se comunique com o centro de controle do tráfego. O centro de controle de tráfego é responsável pela monitorização dos dados de transporte inteiros.

Os autores Changyu, Jianyong e Zheng (2010) apresentam SOA para uma gestão do tráfego do centro de dados inteligente da cidade de Pequim. A arquitetura suporta a tomada de decisões de alto nível, e é capaz de mudar as operações de gestão de transportes. O principal argumento por trás da seleção de SOA é que ele tem como padrão característico a arquitetura distribuída. Serviços baseado em SOA permitem a interoperabilidade com outros sistemas, de forma que ele pode facilmente integrar os serviços de diferentes fornecedores.

O projeto *Array of Things* é uma criação da cooperativa do *Argonne National Laboratory* e da Universidade de Chicago (CHICAGO, 2017). Eles implementaram com a ajuda de sensores conectados à Internet, uma ideia bem-sucedida, mas devido ao fornecimento impróprio de energia e à falta de disponibilidade de locais para colocar os sensores, os alunos traziam seus sensores de volta para casa e, portanto, o projeto não foi implementado corretamente. Depois disso, Catlett, juntamente com alguns membros - Rajesh Sankaran, Pete Beckman, do Instituto de Computação *Argonne* e Douglas Pancoast, Satya Mark Basu, da escola de Arte de Chicago, criaram uma nova noção de *Array of Things*. Isso foi implementado pela primeira vez na Universidade de Chicago, com 20 sensores nós coletando dados do campus usado para vários fins. Mais tarde, também foi introduzido na *North Eastern Illinois University*. *Array of Things* vem servindo como um "Fitness Pursuer" na cidade de Chicago. Trata-se de um projeto de intuição no interior da cidade, em que uma rede de sensores compartilhados e integrados estabelece-se em torno da cidade de Chicago para discernir a infra-estrutura e o meio ambiente agindo como fonte para a pesquisa e uso público.

Os autores [Chen et al. \(2012\)](#) abordam o problema da publicação de dados de trânsito da *Société de Transport de Montréal* (STM), uma agência de transporte público na região de Montreal, sob o contexto da privacidade, e apresentam uma solução prática aplicada em dados de trânsito STM de sanitização de dados de trânsito confidencial eficiente e dependente de dados, mas, diferencialmente, baseada numa estrutura de árvore pré-fiável de granularidade híbrida. Os autores visam a beneficiar muitos outros setores que enfrentam o dilema entre as demandas da publicação sequencial de dados e a proteção da privacidade. Embora muitas tarefas de análise de dados possam ser realizadas com base em consultas de contagem precisa, ainda vale a pena explorar a utilidade de liberação diferencialmente privada para a análise de dados mais complexos. Eles projetam um processo estatístico para construir eficientemente tal árvore sob o mecanismo de Laplace, que é vital para a escalabilidade da solução. Fazem uso de dois conjuntos de restrições inerentes a uma árvore de predefinição para conduzir inferências restritas, o que ajuda a gerar uma liberação mais precisa. Em seguida, realizam um extenso estudo experimental sobre diferentes conjuntos de dados STM da vida real. Por fim, examinam a utilidade de dados higienizados para duas tarefas diferentes de mineração de dados executadas pelo STM, ou seja, consultas de contagem (uma tarefa de análise de dados genéricos) e mineração de padrões sequenciais frequentes (uma tarefa de mineração de dados concreta). Os resultados experimentais demonstram utilidade e mostram que a solução proposta é escalável para grande volume de dados sequenciais da vida real. Sabe-se que os dados de trânsito geralmente contêm informações confidenciais específicas, e a publicação de dados brutos violaria diretamente a privacidade dos passageiros. Segundo os autores, isso é especialmente importante, pois qualquer liberação acidental de informações determinísticas de nível agregado pode expor dados e, conseqüentemente, promover ameaças de privacidade. Apesar da preocupação constante com a abordagem da privacidade dos dados, o artigo não faz referência à norma ISO/TR 12859, que examina tais aspectos comuns.

Tabela 2 – Comparação dos trabalhos relacionados

Propostas	Utiliza SOA	Open Data	Normas/ISO		Coleta de Dados	
			12859	14813	Uso de Sensores	Uso de WS
<a href="#">Diniz, Silva e Gama (2015)</a>	X				X	
<a href="#">Herrera-Quintero et al. (2012)</a>	X				X	
<a href="#">Li (2011)</a>	X				X	
<a href="#">Bravo-Torres et al. (2014)</a>	X				X	
<a href="#">Nasim e Kasser (2012)</a>	X				X	
<a href="#">Changyu, Jianyong e Zheng (2010)</a>	X				X	
<a href="#">Chicago (2017)</a>	X				X	
<a href="#">Chen et al. (2012)</a>	X		X		X	
i9ITS	X	X	X	X		X

## 1.6 Organização do Trabalho

Esta dissertação está organizada em cinco capítulos. O capítulo 1 é constituído por esta introdução, onde é contextualizado o trabalho, descrita a problemática abordada, a justificativa, a hipótese, a solução e a delimitação da proposta, os objetivos e a metodologia deste trabalho. Ainda neste capítulo realiza-se o protocolo de revisão sistemática, relacionando com outros trabalhos científicos.

O capítulo 2 contém o referencial teórico, e seus principais conceitos, sobre as tecnologias relacionadas à proposta, tais como: a arquitetura de *software* orientada a serviços, os sistemas de transportes inteligentes, *open data*, internet das coisas, redes móveis veiculares e as normas relacionadas a ITS.

O capítulo 3 apresenta a solução proposta, seus requisitos, diagramas, componentes, ferramentas e fluxo de execução; ainda nesse capítulo compila-se a relação entre a solução e sua conformidade com a utilização da norma ISO 14813.

No capítulo 4 é planejado e realizado o processo de avaliação da solução i9ITS, assim como, a análise dos resultados obtidos por meio de dois estudos de caso realizados.

Por fim, no capítulo 5 é apresentada a conclusão do trabalho de mestrado com base nos resultados encontrados, bem como as principais e possíveis contribuições esperadas e indicações de trabalhos futuros a partir dos estudos de caso utilizados e relacionados ao tema.

# 2

## Fundamentação Teórica

Esse capítulo apresenta a base teórica dos temas abordados na dissertação, bem como, os principais conceitos e elementos utilizados para subsidiar esse estudo.

### 2.1 Arquitetura orientada a serviços (SOA)

Na literatura existem várias definições de arquitetura orientada a serviços (SOA). No contexto deste trabalho, SOA é definida como um paradigma de arquitetura de software, e também, de infraestrutura de TI que auxilia e facilita a interoperabilidade de dados e aplicações distribuídas, nas mais diversas tecnologias (FROELIAN; SANDHAUS, 2012). Serviços são atividades para executar processos de negócios, definidos como reutilizáveis e independentes que encapsulam funcionalidades que geram valor para quem os utiliza (FROELIAN; SANDHAUS, 2012). Os serviços são disponibilizados no componente *Enterprise Service Bus* (ESB), no qual, através dele é possível conectar serviços e aplicações que irão consumi-los.

Segundo os autores Froelian e Sandhaus (2012), existem vários princípios e benefícios na utilização do paradigma de arquitetura SOA. Dentre eles :

- Baixo acoplamento: possibilita que a arquitetura de software tenha mais flexibilidade e agilidade para realizar mudanças nos requisitos de negócio com menor risco de problemas, tornando assim as manutenções mais fáceis de serem realizadas;
- Contratos de serviço bem definidos: cada serviço no SOA possui uma interface bem definida que fornece informações importantes para quem vai utilizá-lo;
- Abstração do serviço: característica que permite abstrair o ambiente de execução do serviço permitindo assim acessar facilmente vários tipos de tecnologias;

- Autonomia, reutilização e composição: o serviço não depende de outro serviço, e cada um é visto como uma parte autônoma independente. Assim, é possível reutilizar serviços de maneira a orquestrar a execução dos mesmos para compor um ou mais processos de negócio;
- Facilidade de ser encontrado: os serviços são registrados em um catálogo de serviços com as informações relevantes de acesso. Eles estão publicados no ESB e podem ser consultados pelas aplicações.

SOA geralmente faz uso de *web services* para disponibilização e utilização de serviços. Nesse padrão de arquitetura, um *web service* é um serviço que pode ser identificado e acessado através de uma URI (*Uniform Resource Identifier*) específica na web. A interação entre *web services* geralmente utilizam as tecnologias SOAP (*Simple Object Access Protocol*), XML (*eXtensible Markup Language*) e WSDL (*Web Services Description Language*), que é responsável pela descrição do serviço (PAPAZOGLU, 2007).

*Web services* e suas descrições normalmente são providos e armazenados em repositórios conhecidos como UDDI (originado do acrônimo inglês *Universal Description, Discovery and Integration*), podem ser consultados e, conseqüentemente, consumidos. UDDI é um serviço de diretório em que empresas podem registrar (publicar) e buscar (descobrir) por serviços Web (*Web Services*).

A Figura 3 ilustra uma arquitetura típica de *Web Services* (SOA). Nessa arquitetura existem três principais atores:

- Provedor de Serviços (P);
- Requisitor de Serviços (R);
- *Broker* de Serviços (B).

O *Broker* de Serviços é um repositório com informações sobre serviços (UDDI) que contém informações sobre o provedor de serviços (*white pages*), categorias que caracterizam os serviços (*yellow pages*) e a interface dos serviços (*green pages*).

Aplicações SOA compostas por componentes de serviço associam interfaces de serviços e lógica de negócios em um modelo conceitual único, tornando possível a extensão, especialização e criação de novas aplicações (PAPAZOGLU, 2007).

Os tipos de serviço a serem disponibilizados irão depender dos requisitos das aplicações e de suas tecnologias. Segundo os autores Froelian e Sandhaus (2012), os mais comuns são:

- *Webservices*: fornece interoperabilidade de serviços e de chamada aos mesmos por meio do uso de tecnologias como XML (*Extensible Markup Language*), XSD (*XML Schemas*

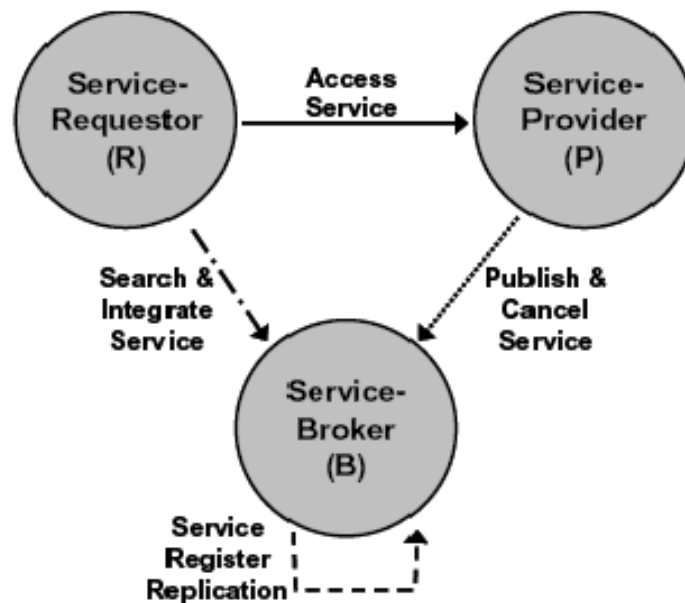


Figura 3 – Arquitetura Orientada a Serviço.

(PAPAZOGLU, 2007)

*Definition Language*), WSDL (*Web Service Description Language*) e SOAP (*Simple Object Access Protocol*). As interfaces dos serviços são disponibilizadas por meio de WSDLs.

- *Representational State Transfer* (REST): utiliza as operações básicas (POST, GET, PUT, DELETE), do protocolo *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP) para fazer a interoperabilidade de chamada aos serviços. As interfaces dos serviços são disponibilizadas através de URI.

Uma abordagem prática para SOA é abordada pelos autores Endrei et al. (2004), por meio de um método composto por sete etapas que descrevem as principais atividades necessárias para a implementação de uma solução baseada em SOA. A Figura 4, extraída do livro de Endrei et al. (2004), ilustra essas etapas.

A primeira etapa é responsável pela decomposição do problema por meio de áreas funcionais, as quais são decompostas em processos e subprocessos de negócios para identificação de casos de uso que são potenciais candidatos a serviços. A próxima etapa (que está diretamente ligada à primeira e, por isso, identificada como etapa 1b na Figura 4) é responsável pelo mapeamento e interação com os sistemas legados. Na segunda etapa, deve ser feita a construção do modelo de serviços. A terceira etapa corresponde à análise dos subsistemas, quando deve ser feito o refinamento dos casos de uso, analisando o fluxo do processo de todos os subsistemas com o intuito de identificar potenciais candidatos a componentes de negócio e suas funcionalidades. A quarta etapa é onde deve ser feita a alocação dos serviços, definindo em que componente o serviço será implementado. Na quinta etapa deve ser elaborada a especificação dos componentes que estão no escopo do projeto, bem como seus serviços, regras, atributos e dependências. Na

sexta etapa, os componentes especificados até o momento devem ser estruturados por meio da adoção de padrões arquiteturais. Por fim, na etapa sete, deve ser executado o mapeamento tecnológico, onde são definidas as estratégias para implementação dos componentes e serviços.

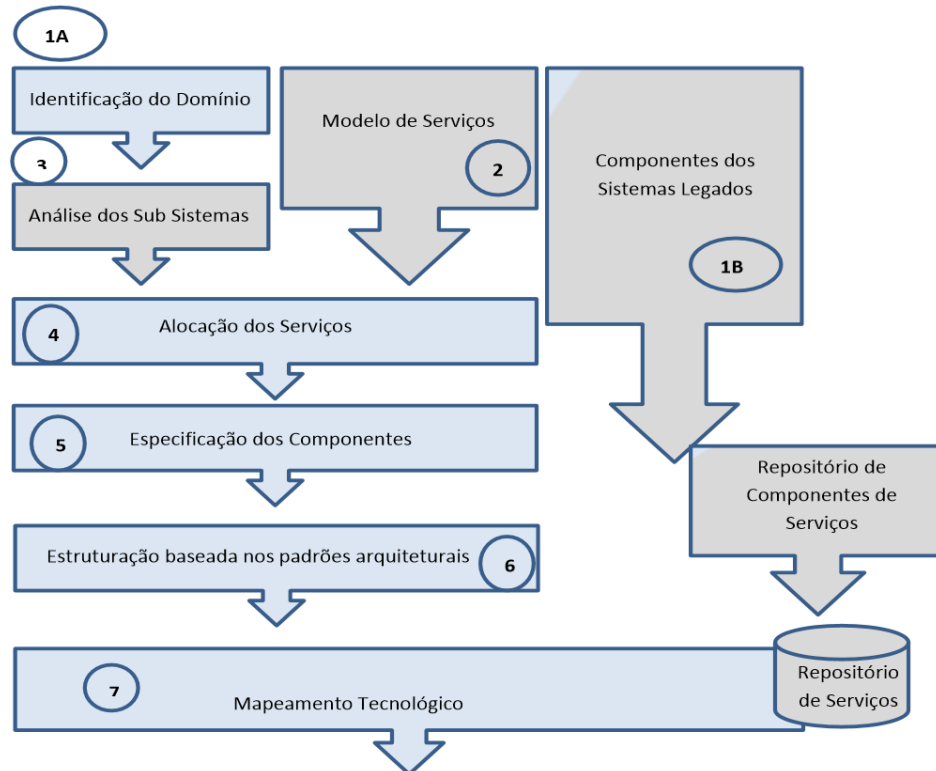


Figura 4 – Etapas para aplicação de SOA. (ENDREI et al., 2004)

Uma arquitetura SOA facilita a gestão de sistemas corporativos, melhorando a escalabilidade e reduzindo custos por meio da colaboração e reuso de soluções (MACKENZIE et al., 2006).

### 2.1.1 ESB (Enterprise Service Bus)

Na maioria das organizações o quadro tecnológico atual é constituído por diversas aplicações, que, muitas vezes são concebidas por diferentes tecnologias. Entretanto, para acolher as necessidades de negócio dessas organizações, as aplicações deveriam operar de maneira integrada sempre que possível. A implementação de uma solução baseada em SOA para esse cenário requer uma estrutura para gerenciar serviços, conhecida como Barramento Empresarial de Serviços ou ESB (*Enterprise Service Bus*) (CHAPPELL, 2004).

Conforme ilustrado na Figura 5, um barramento de serviços funciona como um *middleware* que conecta e intermedia todas as comunicações entre consumidores e provedores de serviços, servidores de banco de dados, servidores de aplicações, sistemas legados, servidores de email e sistemas cliente, entre outros.

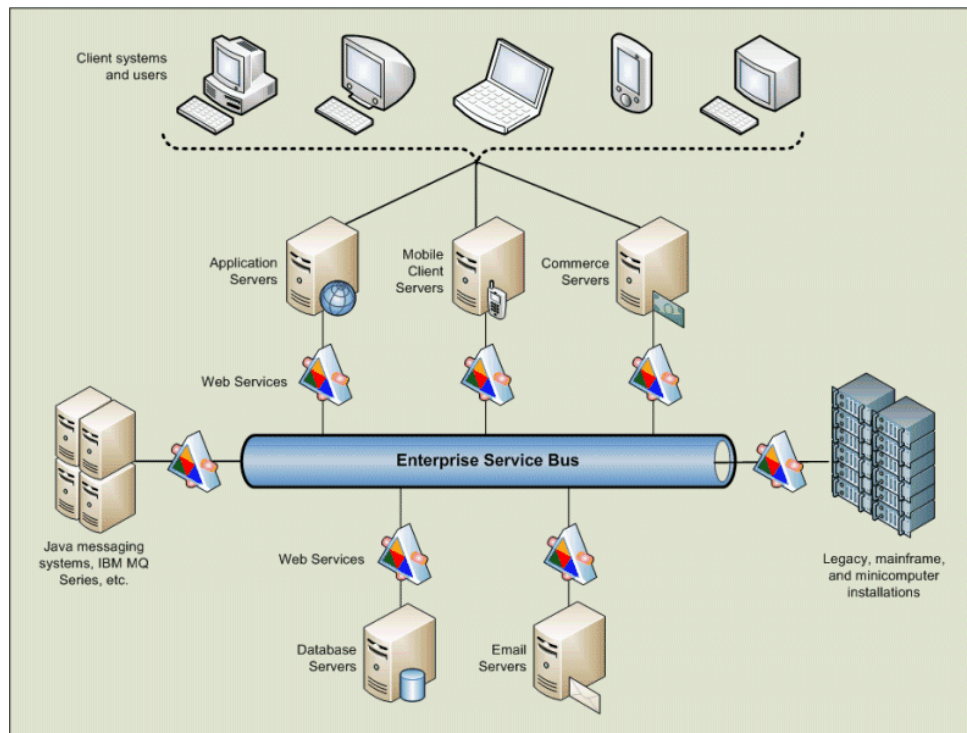


Figura 5 – Uma representação de alto nível da conectividade fornecida pela arquitetura Enterprise Service Bus. (CHAPPELL, 2004)

Existem diversas soluções de ESB disponíveis no mercado. Algumas delas são desenvolvidas e mantidas por organizações privadas, enquanto outras são soluções de *software* livre.

## 2.2 Sistemas de Transportes Inteligentes (ITS)

A sigla ITS surgiu nos Estados Unidos no final da década de 1980, por intermédio de um grupo que almejava proporcionar uma nova visão aos sistemas de transportes do país. Os congestionamentos, a segurança, o meio-ambiente e a produtividade foram os principais temas considerados por esse grupo (SUSSMAN, 2005). Assim, o desejo de manter uma ascendente mobilidade urbana aliada a uma sustentabilidade ambiental e econômica fez surgir o conceito de sistemas de veículos e estradas inteligentes (IVHS, do inglês *Intelligent Vehicle-Highway Systems*), posteriormente conhecidos como ITS (CALDAS; VIEIRA, 2010).

Os ITS são ferramentas que integram informação, métodos de comunicação e tecnologias a fim de subsidiar o sistema de transporte de determinada região, integrando pessoas, estradas e veículos (AUGUSTIN et al., 2006). Esses sistemas aumentam a eficiência, segurança e uso das vias das redes de transportes atuais. Um dos principais objetivos dos ITS é monitorar o tráfego para otimizar as viagens, evitando que os passageiros gastem um tempo demasiado grande no percurso.



ITS visam a dar suporte a várias situações cotidianas relacionadas à mobilidade urbana, por meio da utilização de tecnologias e da interoperabilidade entre os sistemas de comunicação, transmissão de dados e conectividade. A sua eficiência no monitoramento e agilidade na distribuição das informações é essencial para que os resultados sejam sentidos pela população em geral que está inserida nesse cenário, permitindo, assim, um resultado melhor para a gestão do sistema de transporte urbano (ZHU; LIU, 2015) (NASIM; KASSLER, 2012).

Segundo os autores Nasim e Kassler (2012), o ITS pode ser subdividido em seis áreas avançadas de gestão:

- Sistema Avançado de Gestão de Tráfego (ATMS)
- Sistemas Avançados de Informação para Viajantes (ATIS)
- Sistemas Avançados de Transportes Públicos (APTS)
- Sistemas de Operação de Veículos Comerciais (CVO)
- Sistemas Avançados de Controle de Veículos (AVCS)
- Sistema de Coleta Eletrônica de Pedágio (ETC)

Todos esses subsistemas têm como objetivo atuar de forma direcionada e específica sobre subáreas do gerenciamento de transporte, buscando garantir a eficiência e qualidade da mobilidade urbana.

De acordo com os conceitos apresentados, percebe-se que a aplicação de tecnologias no transporte urbano por meio de sistemas ITS proporciona benefícios diretos e indiretos para os passageiros, para as empresas operadoras, para os organismos gestores e para a sociedade em geral.

## 2.3 Open Data

Segundo a Definition (2015), dados abertos são dados que podem ser livremente utilizados, reutilizados e redistribuídos por qualquer pessoa - sujeitos, no máximo, à exigência de atribuição à fonte original e de compartilhamento pelas mesmas licenças em que as informações foram apresentadas. Ou seja, a abertura de dados está interessada em evitar um mecanismo de controle e restrições sobre os dados que forem publicados, permitindo que tanto pessoas físicas quanto jurídicas, possam explorar esses dados de forma livre. Sob essa perspectiva, a definição do termo “dados abertos” apresenta três normas fundamentais (FOUNDATION, 2015). São elas:

- Disponibilidade e acesso: o dado precisa estar disponível por inteiro e por um custo razoável de reprodução, preferencialmente por meio de download na Internet; também deve estar num formato conveniente e modificável.

- Reuso e redistribuição: o dado precisa ser fornecido em condições que permitam a reutilização e a redistribuição, incluindo o cruzamento com outros conjuntos de dados.
- Participação universal: todos podem usar, reutilizar e redistribuir, não havendo discriminação contra áreas de atuação, pessoas ou grupos (não são permitidas restrições como “comercial”, que impedem o uso comercial, e restrições de uso para certos fins, como “somente educacional”).

A partir do momento em que há um movimento de abrir dados, quando as três normas fundamentais mencionadas são respeitadas, é possível que diferentes organizações e sistemas possam trabalhar de forma colaborativa. Isso ocorre devido à capacidade dessas organizações e sistemas de interoperar os dados que foram abertos, ampliando, assim, a comunicação e potencializando o desenvolvimento eficiente de sistemas complexos (OJO; CURRY; ZELETI, 2015).



Figura 6 – *Open Data* informações de relacionamentos. (JAMES, 2016)

Existe uma relação entre as cidades inteligentes e dados abertos (OJO; CURRY; ZELETI, 2015). Essa relação é realizada por meio de dados especializados (transporte, educação, saúde e assim por diante) e ecossistemas dinâmicos, enquanto dados abertos impactam em cidades inteligentes quando há impacto de domínio e dados abertos governamentais, Figura 6.

## 2.4 Internet das Coisas (IoT)

É a presença generalizada em torno de nós de uma variedade de “coisas” ou “objetos”, tais como dispositivos, sensores, e telefones celulares, que, por meio de esquemas de endereçamento

únicos, são capazes de interagir uns com os outros e com componentes “inteligentes” para alcançar objetivos comuns (IERA ANTONIO; FLOERKEMEIER, 2010).

A Internet das Coisas promete ser uma das maiores revoluções tecnológicas que a humanidade já viu. Esse fenômeno está em constante evolução e vem invadindo pouco a pouco a vida de todos, podendo ser dividido em quatro áreas de conveniência: dispositivos portáteis, casas inteligentes e seus aparelhos, veículos conectados e cidades inteligentes (BARTLESON, 2014). Segundo Bartleson (2014), dispositivos portáteis são, possivelmente, a evidência mais visível da IoT iminente. Relógios inteligentes, monitores de *fitness*, *Google Glass*, e monitores cardíacos são apenas alguns dos dispositivos portáteis que pessoas estão começando a levar em seus corpos. E, claro, os *smartphones* que conectam esses dispositivos fazem parte da IoT.

O autor Bartleson (2014), comenta ainda que a denominação cidades inteligentes pode soar futurista, porém governos já inteligentes estão colocando recursos da Internet das Coisas para ajudar os seus cidadãos. Alguns desses projetos, programas e iniciativas são:

- O Programa “comunidades inteligentes” de Chicago, que traz a consciência das tecnologias digitais e da Internet para empresas, famílias e indivíduos
- A iniciativa “City24/7” de Nova York que oferece aos seus moradores e visitantes informações importantes oriundas do governo, empresas e outras pessoas. Essas informações são apresentadas em qualquer dispositivo móvel ou em telas grandes que substituem telefones públicos desatualizados
- A iniciativa inteligente da cidade de Amsterdam que tem 45 projetos em andamento, sendo alguns deles de gestão de energia, colaboração de saúde e, acesso *Wi-Fi* gratuito
- A estratégia inteligente da cidade de Lyon, a qual inclui soluções de transporte e gestão de recursos
- Os parques tecnológicos inteligentes que estão em desenvolvimento em Kalkara, Malta, e Kochi, na Índia

## 2.5 Redes Móveis Veiculares (VANETs)

As VANETs (*Vehicular Ad Hoc Networks*) que usam veículos como nós móveis são uma subclasse de rede móveis ad hoc chamadas de MANETs. Elas fornecem comunicação entre os veículos próximos e entre veículos e equipamentos à beira da rodovia. Os nós numa rede VANET são muito mais dinâmicos, pois os veículos possuem velocidade e direção variável. A alta mobilidade dos nós conduz a uma topologia de rede dinâmica caracterizada pela constante perda de comunicação (SHOAB et al., 2013).

As comunicações em VANETs são categorizadas em quatro tipos:

- Em veículos: pode ser utilizada para detectar a fadiga e/ou sonolência de um motorista que representa risco à segurança
- Entre veículos: a comunicação V2V (veículo para veículo) pode fornecer uma plataforma de intercâmbio de dados para compartilhamento de informações de advertência de modo a alertar o motorista
- Entre veículos e rodovia (V2I): permite a atualização em tempo real do tráfego e fornece detecção e monitoramento do ambiente
- Entre veículo e nuvem: os veículos podem comunicar-se através da banda larga sem fio tais como 3G, 4G ou WIMAX podendo enviar dados para uma central, o que permitiria um controle mais abrangente do tráfego e assistência ao motorista

As VANETs apresentam algumas vantagens como segurança, eficiência e conforto. A sua utilização pode ser aplicada na mobilidade urbana para detecção de congestionamento, detecção de condições da estrada, detecção de acidentes, detecção de semáforos, detecção de desaceleração do tráfego, auxílio aos veículos de emergência, fiscalização, pedágios, assistência, entretenimento (SHOAB et al., 2013).

Diante da evolução das redes veiculares e da necessidade de garantir o tráfego de dados dentro da alta mobilidade dos nós numa VANET, vê-se a importância de se utilizar tecnologias que permitam auxiliar na solução dos principais desafios relacionados a esse tipo de rede. VANETs que utilizam veículos como nós móveis fornecem comunicação entre os veículos próximos e entre veículos e equipamentos à beira da rodovia mas, diferem de outras redes por suas próprias características do ambiente, tais como: meio físico, alta mobilidade, topologia dinâmica e capacidade reduzida (LEITE; NASCIMENTO; MACEDO, 2016).

O uso de VANETs representa uma boa oportunidade para melhora da segurança, eficiência e conforto relacionados ao trânsito nas grandes cidades, porém, possui características peculiares que apresentam obstáculos a serem contornados (LEITE; NASCIMENTO; MACEDO, 2016).

Segundo o autor Li (2011), o VCN (*Vehicular Cloud Networking*) está sendo visto como uma revolução para modernizar a tradicional VANET. Ele integra informações de redes e *Cloud Computing* com VANETs tradicionais. No VCN, veículos e RSU compartilham seus recursos em uma plataforma virtual como ilustrado na Figura 7.

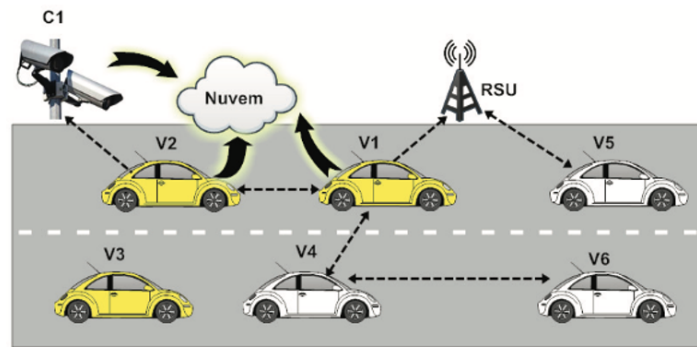


Figura 7 – Modelo do VCN. (LI, 2011)

## 2.6 Normas ISO relacionadas ao Trabalho

A ISO (Organização Internacional de Normalização) é uma federação mundial de organismos nacionais de normalização. O trabalho de elaboração de Normas Internacionais é normalmente realizado por meio de comitês técnicos da ISO. Cada órgão membro interessado numa matéria para a qual tenha sido criado um comité técnico tem o direito de ser representado na comissão. Organizações internacionais, governamentais e não-governamentais, em ligação com a ISO, também participam do trabalho. A ISO colabora estreitamente com a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC) em todas as questões de normalização eletrotécnica.

Nas subseções seguintes estão resumidas algumas normas que possuem relação direta com este trabalho, porém convém lembrar que os documentos originais estão descritos nas diretivas ISO/IEC, e publicadas no site <http://www.iso.org>.

### 2.6.1 ISO 12.859

A norma ISO 12.859 fornece orientação aos desenvolvedores de sistemas ITS sobre privacidade e proteção de dados gerais para a arquitetura e concepções fundamentais de todos os padrões ITS, sistemas e implementações (ISO12859, 2009).

Os sistemas de transporte inteligentes estão intrinsecamente ligados à circulação e ao intercâmbio de dados. Alguns desses dados são puramente anônimos, nos quais, tomados em conjunto, podem fornecer informações pessoais.

No mundo moderno, muitas vezes, não é possível nem desejável que a informação seja sempre anônima, apesar de que, a privacidade dos dados é protegida em todo o mundo pelos regulamentos de proteção de dados.

Embora a evolução e o desenvolvimento da tecnologia ITS ofereçam muitas oportunidades para a prestação de serviços cada vez mais sofisticados, concebidos principalmente em benefício dos utilizadores, na concepção de sistemas e normas ITS é imperativo que, como parte do projeto fundamental, os requisitos legais e morais para a privacidade e a proteção dos dados

sejam considerados na fase inicial da concepção do sistema. Isso não é apenas desejável do ponto de vista moral, mas é necessário para que um sistema ou padrão seja legalmente compatível. Significa, pois, tomar em consideração não só a utilização potencial, mas também a proteção contra o mau uso dos dados num sistema.

A legislação específica relativa à proteção da privacidade dos dados é geralmente conseguida por meio da legislação nacional, o que varia de país para país. Os princípios gerais são geograficamente comuns, no entanto, e devido a disposições feitas por blocos comerciais, como a UE (União Europeia) e APEC (Cooperação Econômica da Ásia e do Pacífico), existem muitos aspectos universais para a privacidade e proteção de dados. Os utilizadores tendem a interpretar estas orientações no contexto das respectivas legislações nacionais. Para os utilizadores dos estados membros da UE, com a Diretiva 95/46/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 24 de Outubro de 1995, relativa à proteção das pessoas singulares no que diz respeito ao tratamento de dados pessoais e à livre circulação desses dados e seus sucessivos instrumentos, esses princípios, são obrigatórios. É provável que os tribunais internacionais deem precedência a uma combinação das diretrizes da OCDE (Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico) sobre a Proteção da Privacidade e Fluxos Transfronteiras de Dados Pessoais (Diretrizes da OCDE) e da Diretriz 95/46/EC ou do Quadro de Privacidade da APEC, conforme apropriado.

## 2.6.2 ISO 14813-1:2015

A [ISO14813 \(2015\)](#) é um modelo de referência de arquitetura para o setor de ITS. A segunda edição cancela e substitui a primeira edição (ISO 14813-1: 2007).

A ISO 14813 é composta pelas seguintes partes:

- Os seus serviços fundamentais
- Requisitos para a descrição da arquitetura em normas ITS
- Apresentação dos dados na ASN.1

Os domínios e grupos de serviços de sistemas de transporte inteligentes (ITS) refletem a evolução das práticas e as aplicações de transporte orientadas para a tecnologia. Até agora, isso tem se demonstrado mais intensamente no domínio do transporte rodoviário, e surgindo nos domínios do transporte marítimo e ferroviário. Esse sistema tem se tornado cada vez mais importante e de interesse, uma vez que o âmbito do ITS se expande para além da sua gama original de serviços de gestão do tráfego rodoviário, informação do viajante e sistemas de pagamento eletrônico. Espera-se também que os ITS abranjam serviços nas seguintes áreas do domínio do transporte rodoviário:

- Operações de rede de transporte e atividades de manutenção;

- Mobilidade de mercadorias e conectividade intermodal (multimodal);
- Viagem multimodal incluindo informações pré-viagem e em viagem e planeamento da viagem onde a viagem começa e/ou termina no domínio do transporte rodoviário;
- Estratégias variáveis de tarifação rodoviária para o transporte de mercadorias e viagens pessoais;
- Atividades de resposta e coordenação de emergência e de catástrofes naturais;
- Necessidades de segurança nacional relacionadas às infra-estruturas de transporte;
- Cooperativa - ITS - designada por vezes como “veículos conectados” ou “sistemas rodoviários/rodoviários conectados”.

Essas interfaces, embora em grande parte fora do escopo da ISO/TC 204 (responsável pelos aspectos gerais do sistema e os aspectos de infra-estrutura dos sistemas de transporte inteligentes), são, no entanto, influências externas críticas sobre a funcionalidade dos vários serviços suportados pelos “domínios e grupos de serviços ITS”.

Os padrões desenvolvidos na ISO/TC 204 devem ser mapeados para um ou mais domínios ITS, grupos de serviço e serviços descritos nessa parte da ISO 14813. Adicionalmente, o desenvolvimento de um dicionário de dados e registro padrão internacional para ITS requer a capacidade de abordar os serviços atuais e emergentes que o ITS pode oferecer.

Com a ampliação da gama de atividades de transporte que utilizam ferramentas ITS, os “serviços fundamentais” originais desenvolvidos pela ISO/TC 204 agora são revisados e expandidos em “domínios e grupos de serviços ITS” por meio da ISO 14813.

A Figura 8 ilustra a hierarquia de definições funcionais e como elas podem ser usadas como entrada para arquiteturas ITS. Na visão *top-down* estão os domínios de serviço que se aplicam ao ITS, eles definem cada um a natureza das atividades fornecidas. Cada um desses domínios incluem as descrições de seus próprios grupos de serviços e seus respectivos serviços. Os grupos de serviços descrevem atividades mais específicas que fazem parte do domínio, e os serviços fornecem a descrição mais detalhada do que é fornecido dentro de cada grupo de serviço.

Os treze domínios de serviço identificados são:

01. Informações do viajante
02. Gerenciamento e operações de tráfego
03. Serviços veiculares
04. O transporte de mercadorias

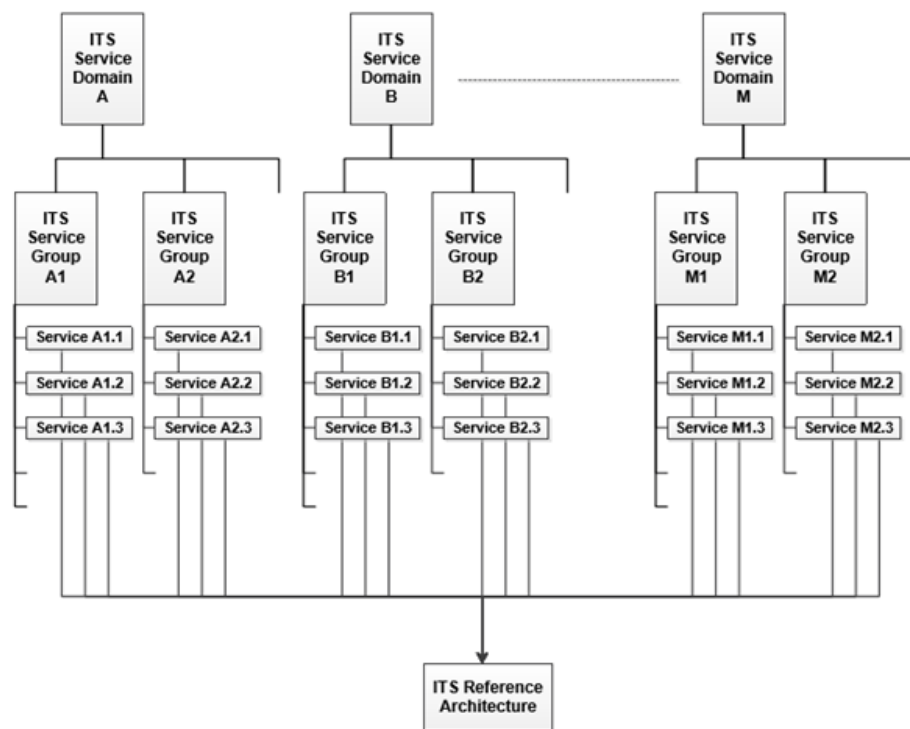


Figura 8 – Serviços ITS - Hierarquia de definições para a “Arquitetura de referência ITS”.

05. Transporte público

06. Serviço de emergência

07. Transportes pagos

08. Transporte rodoviário relacionado com a segurança pessoal

09. Monitoramento do tempo e condições ambientais

10. Gestão de resposta a desastres e coordenação

11. Segurança nacional

12. ITS - Gerenciamento de dados

13. Gestão de desempenho

Atualmente, existem muitas instâncias da arquitetura ITS utilizadas em todo o mundo, com fragmentos de arquiteturas ITS sendo usados como base para vários padrões internacionais. A maioria, senão todas as arquiteturas ITS que estão em uso em todo o mundo, são baseadas na arquitetura ITS dos EUA ou na arquitetura *Framework ITS Europeu*. A terminologia usada por essas duas arquiteturas ITS é similar, mas não idêntica.



# 3

## A Solução i9ITS

Esse capítulo apresenta uma visão geral e os requisitos propostos, bem como, os elementos utilizados para formação da solução.

### 3.1 Visão geral da solução

A solução denominada i9ITS, utiliza-se da abordagem SOA e se propõe a facilitar a interoperabilidade entre sistemas de forma automatizada e gerenciável. Seu objetivo é tornar possível a entrada, coleta padronizada e exposição de dados georreferenciados de maneira a construir uma base de dados aberta de mobilidade urbana.

A disponibilização desses dados na modalidade *open data* permitirá que pessoas ou empresas possam utilizá-los da forma que achar mais conveniente ou até construindo aplicativos integrados à arquitetura para fins de sistema de transportes inteligentes.

Como forma de permitir uma melhor orquestração dos serviços a solução também propõe uma iniciativa de taxonomia com base na ISO 14.813 para identificar e servir como um dicionário de serviços no padrão ITS.

### 3.2 Requisitos da solução

Para que seja possível o funcionamento da solução i9ITS, quatro pré-requisitos são essenciais e foram considerados na construção da presente proposta. São eles:

1. A solução deve utilizar somente dados de empresas que estiverem conveniadas;
2. A solução deve consolidar, apenas, dados relevantes à mobilidade urbana;

3. Todos os dados de georreferenciamento devem ser armazenados numa base dados aberta;
4. A solução deve considerar aspectos relacionados a privacidade dos dados.

O primeiro requisito consiste em formalizar convênios, e, assim, efetivar um contrato de serviços com as empresas que desejem utilizar a solução proposta, para que seja permitida a captura dos dados georreferenciados. Através desse convênio, serão fornecidos serviços para que somente essas empresas possam inserir informações na base de dados da solução i9ITS (*Smart Cities*).

O segundo requisito tem como objetivo a definição do mecanismo de captura dos dados relevantes à mobilidade urbana, desconsiderando-se dados que não estão relacionados a esse contexto.

O terceiro consiste em criar uma base de dados capaz de armazenar os dados relacionados ao georreferenciamento ligados à mobilidade urbana, a fim de permitir a consolidação dessas informações para futura disponibilização de acesso em uma base de dados aberta.

O último requisito compreende a atividade correspondente ao processo de ofuscagem da identidade do elemento georreferenciado a ser inserido. O objetivo é garantir a privacidade dos dados, evitando-se a identificação do objeto correspondente àquela coordenada. Para isso, será utilizado um algoritmo de conversão baseado em mecanismos de criptografia *Message-Digest algorithm 5 (MD5 Hash Generator)*, que será aplicado sobre os identificadores informados na recepção dos dados. Esse passo se faz necessário devido às informações não serem oriundas apenas de órgãos públicos, como a maioria das aplicações de dados abertos existentes na literatura. Sendo assim, por questão de segurança, o objeto monitorado não deve ser identificado.

### 3.3 Diagrama da solução

O seguinte diagrama mostra as partes da i9ITS, bem como o módulo *back-end* e seus componentes:

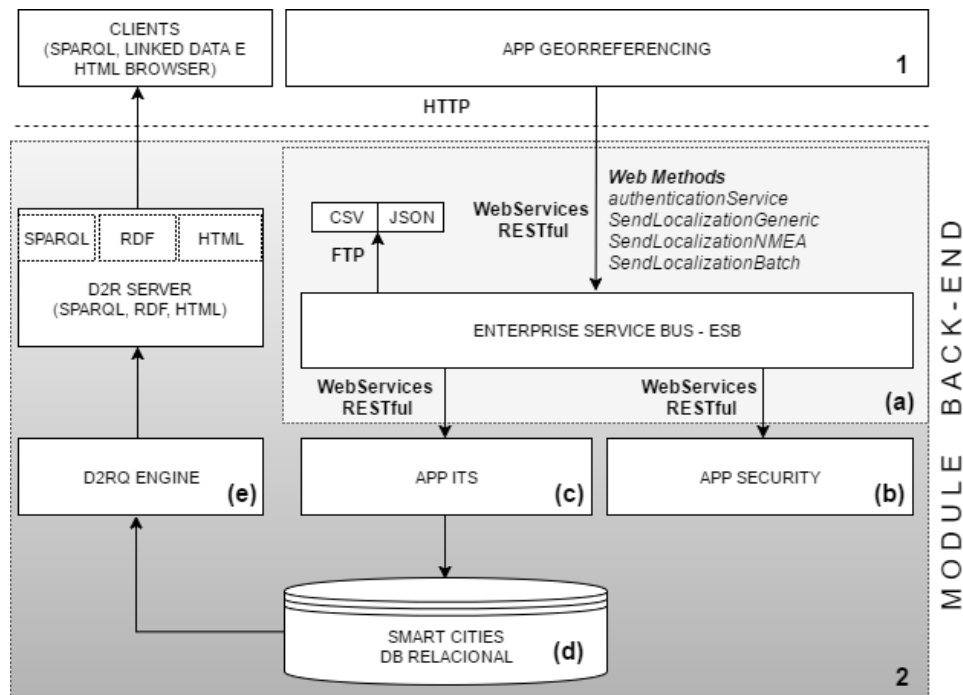


Figura 9 – Solução i9ITS.

### 3.3.1 Componentes da solução i9ITS

As aplicações de georreferenciamento de terceiros (Figura 9 (1)) coletam informações de coordenadas geográficas de vários sensores que podem ser agrupadas e tratadas para fornecer importantes fontes de informação sobre mobilidade urbana.

Diante desse cenário, a solução i9ITS surge como uma proposta que prevê o recebimento e retenção dessas informações, através da utilização da abordagem SOA, utilizando métodos de entrada, disponibilizados por *Webservices RESTful*, a serviço do módulo *Back-End* (Figura 9 (2)).

O módulo *Back-End* (Figura 9 (2)) define os métodos de entrada através do *Webservices RESTful* (Figura 9 (2.a)), que se encontra disponível no catálogo de serviços através do *middleware Enterprise Service Bus* (ESB) que coordena o acesso aos serviços síncronos de *Request/Response* da aplicação ITS (Figura 9 (2.c)). Cada método de entrada do *Webservices* do ESB (Figura 9 (2.a)) preocupa-se em tratar os tipos de processamento, *online* ou *batch*, bem como a definição das entradas dos dados georreferenciados seguindo ou não padrão NMEA (*National Marine Electronics Association*).

O método *sendLocalizationBatch* tem por objetivo tratar processamentos do tipo *batch*, através da importação de dados georreferenciados, recebendo um arquivo e seguindo um padrão de layout pré-definido. As informações definidas nesse layout são: Token (texto), Identificador da Empresa (texto), Identificador do Veículo (texto), Latitude (coordenada decimal), Longitude (coordenada decimal), Altitude (numérico), Velocidade (numérico), Data/Hora

(yyyyMMddHHmmss – ano mês dia hora minuto segundo), Tipo do Veículo (inteiro) e protegido (lógico). As informações do Identificador da Empresa, do Veículo, Latitude, Longitude e a Data/Hora são obrigatórias. Para o Tipo de Veículo serão permitidas as seguintes informações: 0 – Carro Particular, 1 – Táxi, 2 – Ônibus, 3 – Ônibus Coletivo, 4 – Trem, 5 – Metrô, 6 – Bicicleta, 7 – Caminhão, entre outros.

Para os processamentos do tipo online serão disponibilizados os métodos: *sendLocalizationNMEA* e *sendLocalizationGeneric*.

O método *sendLocalizationNMEA* utiliza o padrão NMEA que define comunicação de dispositivos eletrônicos marinhos de navegação, através da sentença GGA, a qual contém informações de posicionamento global 3D (Latitude, Longitude e Altitude) (SHOAB et al., 2013). Alguns exemplos são sondas, sonares, anemômetro, giroscópio, piloto automático, receptores GPS e muitos outros tipos de instrumentos.

O padrão NMEA é utilizado pela maioria dos aparelhos de GPS tanto os de uso comercial como os módulos utilizados para desenvolvimento. O protocolo é baseado em ASCII e transmitido serialmente. A comunicação é feita através de mensagens, e essas mensagens seguem as normas estabelecidas pela NMEA (nmea.org).

Exemplo:

<code>\$GPGLL,4916.45,N,12311.12,W,225444,A,*1D</code>	
Onde:	
GP	Mensagem enviada por um dispositivo GPS
GLL	Posição geográfica, latitude e longitude
4916.46,N	Latitude 49 graus 16,45 minutos Norte
12311.12,W	Longitude 123 graus 11.12 minutos Oeste
225444	Fixo as 22:54:44 UTC
A	Dados Active(ativo) ou Void(sem nada)
*1D	checksum

Figura 10 – Exemplo de arquivo de amostra padrão NMEA.

(NMEA, 2013)

- O caractere inicial de cada mensagem deve ser um cifrão “\$”.
- As sentenças da mensagem são separadas por virgulas “,”.
- Logo após o cifrão duas letras identificam o dispositivo que está enviando a mensagem e três, o tipo de mensagem.
- Após o último campo, deve ter um asterisco “\*” seguido do *checksum* de dois caracteres em hexadecimal.

- O *checksum* consiste em um XOR (*exclusive OR* – OU exclusivo) de toda a mensagem desde o “\$” até o “\*”.

O método *sendLocalizationGeneric* será utilizado para receber dados de outros dispositivos que não adotem o padrão NMEA, como *smartphones* ou *OnBoard Unit (OBU)* em VANETs (BRAVO-TORRES et al., 2014) devendo utilizar-se o mesmo padrão de formato do arquivo *batch*, porém, contendo apenas uma *string* de transmissão.

A Figura 11 é um formato (*Swagger*) utilizado para especificação *API RESTful* do método *sendLocalizationGenerics*:

/sendLocalizationGenerics

GET /sendLocalizationGenerics
SendLocalizationGenerics

### Summary

Método padrão para recepção de dados.

### Description

Método utilizado para receber dados de dispositivos que não adotem o padrão NMEA, como smartphones ou OnBoard Unit (OBU) em VANETs.

### Parameters

Name	Located in	Description	Required	Schema
token	query	Chave de acesso.	Yes	⇒ string
idEmpresa	query	Identificador da Empresa.	Yes	⇒ string
idVeiculo	query	Identificador do veículo.	Yes	⇒ string
latitude	query	Latitude do objeto.	Yes	⇒ ▼ number (double)
longitude	query	Longitude do objeto.	Yes	⇒ ▼ number (double)
altitude	query	Altitude do objeto.	No	⇒ ▼ number (float)
velocidade	query	Velocidade do objeto.	No	⇒ ▼ number (float)
dataHora	query	Data/hora de transmissão do objeto.	Yes	⇒ ▼ string (date-time)
tipoVeiculo	query	Tipo de veículo.	Yes	⇒ ▼ integer (int32)
protegido	query	Ocultar informações da empresa e do veículo.	No	⇒ boolean

### Responses

Code	Description	Schema
200	Success	▼ [ ▶ SendLocalizationGenerics { } ]
default	Failure	▼ Error { code: ▶ integer message: string fields: string }

Try this operation

Figura 11 – Especificação API RESTful. Fonte: Swagger

Para evitar entrada de dados não autorizados na base, foi definida uma autenticação para acesso aos métodos do ESB a serem realizados pelas empresas conveniadas. Para tanto foi utilizado o modelo de autenticação de domínio cruzado. Esse modelo define um relacionamento de confiança entre o cliente e o ESB, através de um *token* que deve ser enviado a cada chamada dos métodos. O ESB é responsável por disponibilizar o método *authenticationService* porém, é de responsabilidade da aplicação de segurança (Figura 9(2.b)), realizar a autenticação e geração do *token* que será repassado para o ESB e encaminhado para a aplicação cliente.

Todos os métodos disponibilizados pelo ESB possuem também o *token* como parâmetro, que é gerado pelo serviço *authenticationService*, (Figura 9 (2.a)). O *authenticationService* recebe os dados de identificação da empresa conveniada e retorna o token, o qual deve ser informado na chamada dos métodos *sendLocalizationBatch*, *sendLocalizationGeneric* e *sendLocalizationNMEA*.

O componente ESB (Figura 9 (2.a)) é responsável pelo processo de autenticação da empresa fornecedora e pela validação da quantidade de parâmetros. Este componente recebe a requisição e transmite para a aplicação ITS somente se estiver válida. Também foi definida a ofuscagem das informações (Identificador da Empresa e Identificador do Veículo) repassadas, transformando esses dados em informações criptografadas e, garantindo, assim, o requisito de privacidade.

O componente Aplicação de ITS (Figura 9 (2.c)) tem como objetivo tratar e considerar os dados recebidos sobre o domínio de ITS, bem como de persisti-los na base de dados de cidades inteligentes (Figura 9 (2.d)).

Com base na proposta da solução i9ITS, foi utilizado o *middleware Mule ESB* por se tratar de um *Enterprise Service Bus open source*, extensível e possuir versão gratuita. Para a comunicação de dados via HTTP entre o servidor e as aplicações clientes, foi utilizado o formato *JavaScript Object Notation (JSON)*, implementado sobre o estilo *RESTful* em função de seu desempenho e simplicidade.

Foi disponibilizado também um serviço com o propósito de receber a requisição das aplicações de georreferenciamento dos fornecedores, o qual realizará o processo de ofuscagem do identificador do objeto referenciado, e por fim, os dados serão enviados para a aplicação de ITS que fará a validação para inserção na base de dados relacional *smart cities*.

Como repositório das informações (Figura 9 (2.d)), foi utilizado o SGBD *PostgreSQL* com a extensão *PostGIS* visando a armazenar e manipular objetos georreferenciados, instalado em um servidor virtual cuja configuração está presente na Tabela 4. Nesse repositório foram criadas duas tabelas: *OBI\_OBJECTID* (armazena as identificações dos veículos) e *MOB\_MOVE\_OBJECT* (armazena as movimentações dos veículos).

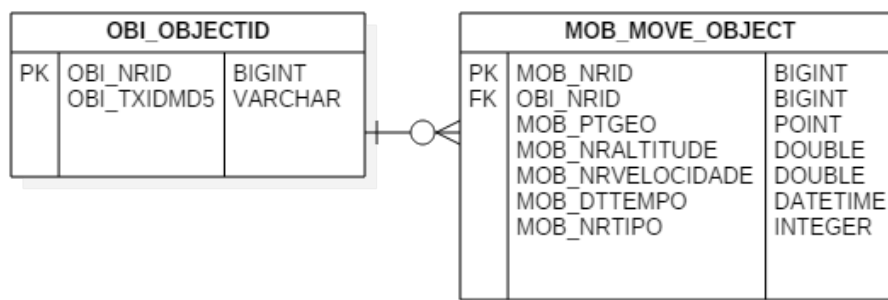


Figura 12 – DER (Diagrama Entidade Relacionamento).

A tabela *OBI\_OBJECTID* possui um campo *OBI\_TXIDMD5*, que está preparado para armazenar as informações do objeto monitorado criptografado ou não. A tabela *MOB\_MOVE\_OBJECT* possui todos os campos necessários para obtenção de informações relacionadas às movimentações dos veículos, entre eles um tipo de coluna geoespacial denominada *MOB\_PTGEO*.

Tabela 3 – Entidade *OBI\_OBJECTID*

Coluna	Descrição
<i>OBI_NRID</i>	Chave Primária
<i>OBI_TXIDMD5</i>	Identificador Lógico do Objeto

Tabela 4 – Entidade *MOB\_MOVE\_OBJECT*

Coluna	Descrição
<i>MOB_NRID</i>	Chave Primária
<i>OBI_NRID</i>	Chave Estrangeira do Objeto
<i>MOB_PTGEO</i>	Ponto Georreferenciado
<i>MOB_NRALTITUDE</i>	Altitude
<i>MOB_NRVELOCIDADE</i>	Velocidade
<i>MOB_DTTEMPO</i>	Data/Hora da Transmissão
<i>MOV_NRTIPO</i>	Tipo do Veículo

Para permitir que os consumidores possam usar a informação da forma mais adequada atingindo seus objetivos foi utilizada plataforma *D2RQ Engine* (Figura 9 (2.e)). Esse recurso permite que a base de dados relacional seja publicada na Web Semântica com acesso baseado em RDF (*Resource Description Framework*) sem ter que replicá-lo em um armazenamento RDF.

A plataforma *D2RQ* permite mapear o banco de dados para grafo virtual RDF, consultar um banco de dados não RDF utilizando a linguagem SPARQL, criar RDF *dumps* e acessar a informação do BD como *Linked Data*. O servidor *D2R Server* fornece uma visão *Linked Data* e tem a função de permitir consultas SPARQL.

## 3.4 Softwares e ferramentas utilizadas na solução i9ITS

Nesta seção, serão abordadas o conjunto de softwares e ferramentas que foram utilizados para construção da solução i9ITS.

### 3.4.1 PostgreSQL (PostGIS)

PostgreSQL foi utilizado como sistema gerenciador de banco de dados objeto relacional (SGBDOR).

Hoje, o PostgreSQL é um dos SGBDs (Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados) de código aberto mais avançados, contando com inúmeros recursos. Entre estes recursos podemos destacar a estrutura para guardar dados georreferenciados PostGIS.

PostGIS é uma extensão de banco de dados PostgreSQL objeto-relacional. Ele adiciona suporte para objetos geográficos permitindo que consultas de localização sejam executadas em SQL.

### 3.4.2 Mule ESB

Mule é um barramento de serviço (ESB) e quadro de integração fornecido por *MuleSoft*. A plataforma é baseada em Java, mas pode intermediar interações entre outras plataformas, como o .NET usando serviços web ou *sockets*. O Mule é considerado um ESB de código aberto muito utilizado para integração de aplicações de software baseadas em serviço que utilizam o conceito de container de serviços, além de possuir uma grande variedade de mecanismos de comunicação suportados, como SOAP, REST, HTTP, FTP, TCP, UDP, SMTP, POP3 e JDBC.

A arquitetura do Mule é escalável, possuindo um corretor de objeto distribuível que pode lidar com interações entre sistemas legados, aplicações internas e quase todos os modernos transportes e protocolos.

Com base na proposta da solução i9ITS, o *middleware Mule ESB* foi utilizado por se tratar de um *Enterprise Service Bus open source*, ser extensível e possuir versão gratuita. Além disso, provê todos os serviços de integração que são essenciais a um ESB, incluindo a orquestração de serviços a partir de processos de negócio descritos em WS-BPEL (*Web Services Business Process Execution Language*).

O servidor ESB Mule Standalone 3.7 foi montado em um servidor físico cuja configuração está descrita na Tabela 4.

### 3.4.3 Swagger

Swagger é uma estrutura de código aberto apoiada por um grande ecossistema de ferramentas que ajuda ao desenvolvedor: projetar, construir, documentar e consumir suas *APIs*



*RESTful*.

O Swagger é uma ferramenta que permite criar documentação para *APIs* de três formas:

- Manualmente: Permite escrever manualmente a especificação dos serviços e publicá-los no seu próprio servidor ou em algum outro.
- Automaticamente: Permite que ao mesmo tempo em que é criada a *API*, também seja gerada a documentação.
- Codegen: É um aplicativo que converte as anotações do próprio Swagger contidas no código fonte das *APIs REST* em documentação.

### 3.4.4 D2RQ

A plataforma D2RQ é um sistema que utiliza o ambiente Java para acessar bancos de dados relacionais como gráficos RDF virtuais, somente leitura. Ela oferece acesso baseado em RDF para o conteúdo de bancos de dados relacionais sem ter que replicá-lo em um armazenamento RDF.

D2RQ é um software *Open Source* e publicado sob a licença Apache que permite a publicação de dados de BD em grafo RDF (*on-the-fly*). A plataforma D2RQ consiste em:

- A linguagem de mapeamento D2RQ , uma linguagem de mapeamento declarativa para descrever a relação entre uma ontologia e um modelo de dados relacional
- O mecanismo D2RQ , um *plug-in* para o *Jena Semantic Web toolkit*, que usa os mapeamentos para reescrever chamadas *Jena API* para consultas SQL contra o banco de dados e passa os resultados da consulta até as camadas mais altas das estruturas.
- Servidor D2R , um servidor HTTP que fornece uma vista de dados ligados, uma vista HTML para depuração e um ponto de extremidade do protocolo SPARQL sobre o banco de dados

### 3.4.5 Eclipse IDE

Todas as classes referenciadas no projeto foram desenvolvidas na linguagem Java (ver Figura 13(3) e (7)) seguindo o modelo *open source* de desenvolvimento de software utilizando a IDE Eclipse.

## 3.5 Processo de execução da solução i9ITS

O processo é iniciado com a requisição HTTP (Figura 13 (1)), na qual os dados obtidos são enviados pela URL (token, idEmpresa, idVeiculo, latitude, longitude, altitude, velocidade,

dataHora, tipoVeiculo, protegido) para o componente *SetPayload* (Figura 13 (2)). Em seguida esses são submetidos à classe Java (Figura 13 (3)), que tem o objetivo de validar o *token* e ofuscar o id do Veículo e da empresa, através do *hash MD5*, caso o parâmetro “Protegido” seja verdadeiro. Após a ofuscagem, é gerado uma *string* no formato JSON a ser enviado para Aplicações ITS. O resultado do processamento da classe é armazenado no componente *Variable* (Figura 13 (4)). Se o resultado retornado pelo JSON (Figura 13 (5)) for “*error*”:*true* (Figura 13 (6)), isso indica que houve erro no processamento e o fluxo é interrompido, exibindo-se a mensagem *Failure*. Caso contrário, os dados são validados através de uma classe Java (Figura 13 (7)) e o resultado do processamento é armazenado no componente *Variable* (Figura 13 (8)). Se o resultado retornado pelo JSON (Figura 13 (9)) for “*error*”:*true* (Figura 13 (10)), isso indica que houve erro no processamento e o fluxo é interrompido, exibindo-se a mensagem *Failure*. Caso contrário, é realizada uma requisição para a aplicação APP ITS (Figura 13 (11)), passando o JSON gerado, que armazenará na base aberta, retornando a mensagem *Success*.

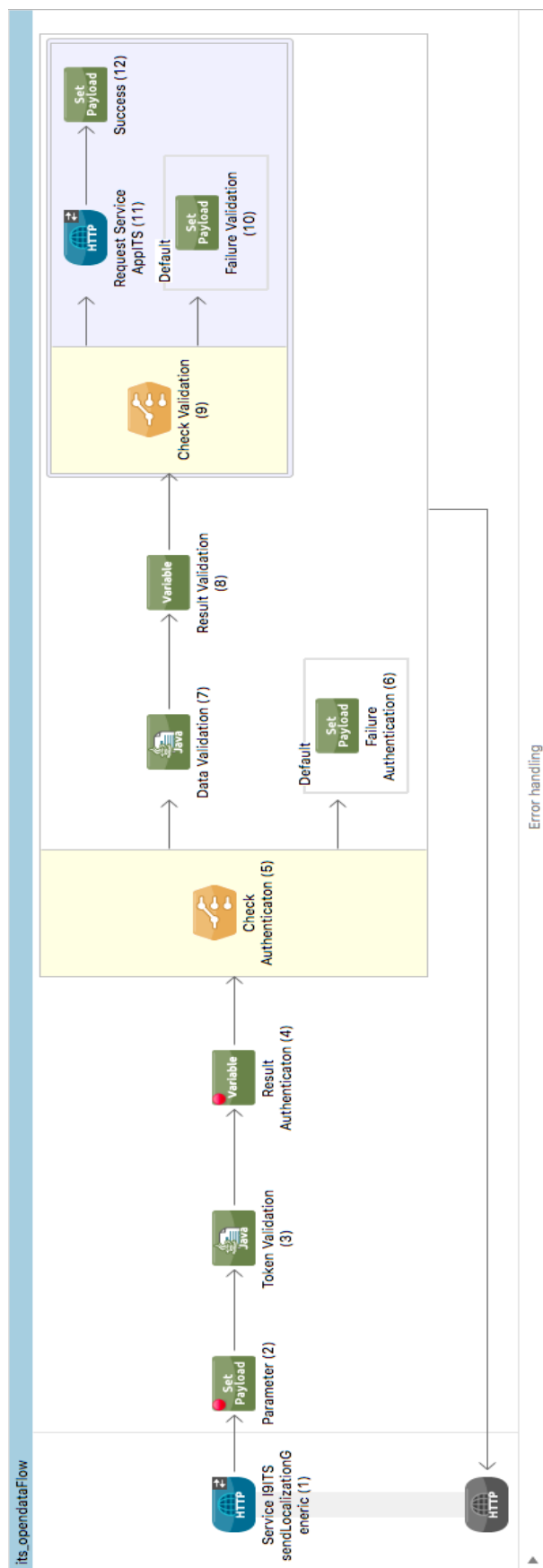


Figura 13 – Processo de execução no *ESB Mule Standalone*.

### 3.6 A utilização da ISO 14813 na solução i9ITS

A norma ISO/DIS 14813 pode ser utilizada como modelo de referência internacional para o setor de TI ou para qualquer aplicação relacionada a sistemas de transportes inteligentes, porém implica rigoroso controle no que se refere ao mapeamento e classificação dos serviços. No contexto relacionado à solução proposta deste trabalho, utilizou-se a ISO 14813 para promover a construção de um catálogo de serviços ITS sobre o barramento ESB da solução i9ITS.

O barramento ESB, na solução i9ITS, tem o papel de orquestrar os serviços catalogados, ou seja, coordenar de forma sequencial a chamada de outros serviços ou para resolver uma tarefa de um processo de negócio específico. Para tanto, o emprego dos domínios, grupos e serviços ITS apresentados na ISO 14813, servem de estrutura base para a organização, classificação, e consequentemente, o desenvolvimento da solução no que se refere ao mapeamento das operações e serviços relacionadas a ITS, o que, por sua vez levaram à definição dos requisitos e funcionalidades apropriadas aos serviços específicos.

A Tabela 5 da ISO 14813 exhibe apenas uma parte da estrutura ITS correspondente a um dos vários domínios de serviços existentes (*Performance Management*). Vale ressaltar que ao todo são 13 (treze) domínios. Cada um desses domínios é, então, coberto por anexos separados nessa parte da ISO 14813, cada um dos quais incluindo as descrições de seus próprios grupos de serviços e serviços específicos.

A Tabela 5 apresenta, na coluna da esquerda, a descrição de um serviço de domínio, na segunda coluna, os grupos de serviços descrevem atividades mais específicas que fazem parte do domínio e, nas colunas seguintes, a descrição mais detalhadas dos serviços que são fornecidos dentro de cada grupo e suas respectivas cláusulas. Essa representação é resultado da Figura 8 que corresponde a hierarquia dos serviços ITS da norma ISO 14813, e como elas podem ser usadas como entrada para arquiteturas ITS.

Após estudo e análise realizado na estrutura geral ITS foi percebido que os serviços propostos e disponibilizados pela solução i9ITS faziam parte e se enquadravam na cláusula (*M.2.2.1*), do serviço (*Data archiving (formerly traveller information domain)*), grupo (*Data Storage*) pertencente ao domínio (*Performance Management*), por se tratar de serviço de arquivamento de dados ITS de informações aos usuários.

Tabela 5 – Parte da estrutura dos domínios e grupos do serviço ITS

<i>Service Domain</i>	<i>Service Group</i>	<i>Service</i>	<i>See clause</i>
<i>Performance Management</i>	<i>Data Storage</i>	<i>Data archiving (formerly traveller information domain)</i>	<i>M.2.2.1</i>
		<i>Data warehousing (formerly traveller information domain)</i>	<i>M.2.2.2</i>
		<i>Emissions monitoring</i>	<i>M.2.2.3</i>
	<i>Simulation</i>	<i>System performance simulation (on-line)</i>	<i>M.3.2.1</i>
		<i>System performance simulation (offline)</i>	<i>M.3.2.2</i>

A maneira pela qual as descrições dos serviços são utilizadas em arquiteturas ITS depende da metodologia adotada para sua criação. Assim, as descrições de serviço podem ser usadas para gerar “casos de uso” que são a entrada para uma arquitetura ITS criada usando a metodologia orientada a objetos, ou “necessidades do usuário”, que são a entrada para uma arquitetura ITS criada usando a metodologia orientada a processos.

# 4

## Avaliação da solução i9ITS

### 4.1 Estudo de Caso I

O estudo de caso I avaliou a eficácia e a eficiência da solução proposta por meio da utilização de dados georreferenciados reais fornecidos por uma central de serviço de táxi do município de Aracaju (SE) - Brasil.

Nas próximas seções, foi relatado como ocorreu o processo de operação do experimento *in vivo*, destacando-se a preparação, a execução e a validação dos dados.

#### 4.1.1 Preparação

Para a preparação do ambiente as seguintes etapas foram seguidas:

- *API Cliente*: Foi disponibilizada uma *API* desenvolvida na linguagem Java com o objetivo de facilitar a utilização dos serviços do fornecedor para o envio dos dados de forma *on line*.
- *Solução i9ITS*: Foi disponibilizado um ambiente de teste para suportar a coleta de dados com a solução proposta. A Tabela 6 mostra as configurações dos servidores utilizados no estudo de caso.

Tabela 6 – Configuração dos servidores envolvidos no estudo de Caso

Servidor	Sistema Operacional	RAM	Link
ESB Mule Standalone e D2RQ	Ubuntu 12.04 LTS - LAMP	8 GB	100 Mb/s
SGBD	VM -Ubuntu 10.04 - Plesk 11	2 GB	100 Mb/s
App ITS	Windows Server 2008 R2 Standard SP1	4 Gb	100 Mb/s

Conforme mostra a Tabela 6, foram utilizados três servidores para suportar a solução i9ITS: Um servidor para o ESB *Mule Standalone* e o D2RQ, um servidor para o SGBD e outro servidor para a App ITS. O servidor ESB *Mule Standalone* opera sob um sistema operacional Linux com capacidade de memória RAM de 8 GB e tem a função de processar o fluxo de execução criado citado na Figura 13. O servidor D2RQ é responsável por produzir os dados abertos no formato *Linked Data*. O servidor SGBD hospeda o Sistema Gerenciador de Banco de Dados PostgreSQL também instalado sob o sistema operacional Linux com memória RAM de 2 GB. Já o servidor da App ITS tem a função de tratar e persistir os dados na base, e utiliza o Sistema Operacional Windows Server, com 4 Gb de RAM. Todos os servidores utilizaram link dedicado de 100 Mb/s.

### 4.1.2 Execução

Após a preparação do experimento, foi iniciado o processo de execução em que o aplicativo do fornecedor sofreu uma alteração, passando a incluir a chamada do método *sendLocationGeneric* da API cliente da solução i9ITS.

Os serviços disponibilizados da solução i9ITS foram desenvolvidos no formato REST (*Representational State Transfer*). Por esse motivo, foi disponibilizada uma API Cliente com o objetivo de facilitar a utilização dos serviços de forma que a base aberta representasse a informação em tempo real.

Um dos pontos relevantes neste estudo de caso foi verificar a complexidade da mudança na solução do fornecedor para realizar a integração, assim como analisar a possível perda de desempenho.

### 4.1.3 Validação

A aplicação do fornecedor gerencia os pedidos através de uma central convencional de táxi (Figura 14). Esses pedidos são coletados e direcionados respeitando a ordem do primeiro taxista da fila em suas respectivas áreas mapeadas.

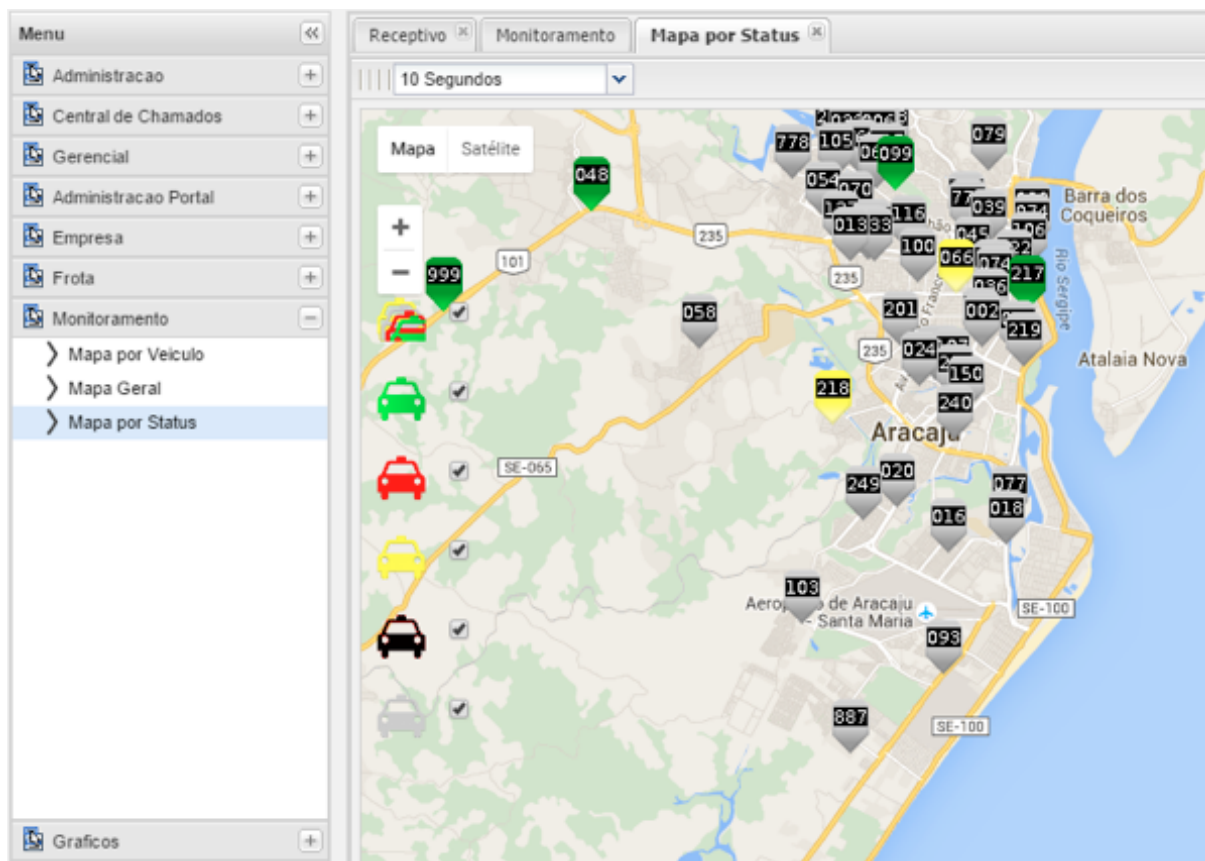


Figura 14 – *Screenshot* do sistema de monitoramento de táxi.

Este estudo procurou validar a solução utilizando dados reais por intermédio de um aplicativo de monitoramento de veículos proveniente de uma central de serviço de táxi, que detecta por intermédio de aparelhos celulares a localização de 120 veículos afiliados (cada um transmitindo sua coordenada georreferenciada a uma frequência de 30 segundos) durante 30 dias seguidos.

A Figura 14 mostra uma das telas de uma aplicação de terceiros com a plotagem do mapa do município de Aracaju (SE) - Brasil. Nessa tela de monitoramento os veículos estão destacados em cores com base no seu status: preto (aparelho desligado), cinza (*off-line*), vermelho (ocupado), amarelo (indo ao cliente) e verde (disponível). Além disso, cada veículo monitorado possui uma identificação numérica e a cada 10 segundos a aplicação solicita automaticamente uma requisição para que os mesmos sejam reposicionados na área de plotagem. A Tabela 7 mostra algumas linhas de dados georreferenciados que são inseridos na base de dados de empresas fornecedoras.



Tabela 7 – Exemplo de dados georreferenciados de um veículo.

Latitude	Longitude	Altitude	Velocidade	Data/Hora
-10.9260870404213	-37.0438061803906	5.687	0	2015-01-01 14:30:45
-10.9272510837300	-37.0433716625302	4.318	33.12	2015-01-01 14:31:00
-10.9281886357348	-37.0435165018170	4.206	56.64	2015-01-01 14:31:15
-10.9290735134455	-37.0445947498410	2.834	60.62	2015-01-01 14:31:30
-10.9300057925269	-37.0458929390042	3.957	58.40	2015-01-01 14:31:45
-10.9308801307801	-37.0470409244626	4.669	45.35	2015-01-01 14:32:00

#### 4.1.4 Análise dos Resultados Obtidos

A análise dos resultados obtidos foi realizada sob duas perspectivas: a eficácia e a eficiência. Sobre a eficácia, foi verificado se a quantidade de transmissões realizadas foi persistida com sucesso na base de dados relacional *Smart Cities*. Em relação à eficiência, tratou de mensurar o tempo de cada requisição, tomando como base a soma do desvio padrão e a média diária.

##### 4.1.4.1 Análise da eficácia

Para realizar a análise da solução sob a perspectiva da eficácia, foram realizadas consultas na base de dados *Smart Cities*, confrontando a quantidade de requisições com o total de registros persistidos diariamente pela aplicação de georreferenciamento do fornecedor.

Segue um breve exemplo de consultas realizadas nas duas bases de dados:

-- Consulta na base de dados *Smart Cities*

```
SELECT COUNT(*) AS TotalRequisicoes, DataRequisicao FROM Table_Name where
IdEmpresa = IdEmpresa GROUP BY DataRequisicao
```

-- Consulta na base de dados da App do Fornecedor

```
SELECT COUNT(*) AS TotalRequisicoes, DataRequisicao FROM Table_Name GROUP
BY DataRequisicao
```

O resultado obtido indicou que todas as requisições foram armazenadas com sucesso conforme Figura 15.

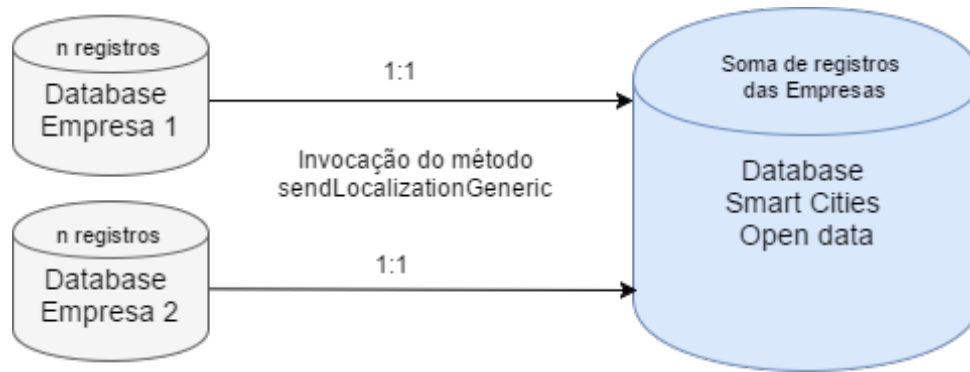


Figura 15 – Replicação de dados dos fornecedores para a base Smart Cities. Fonte: Autores

A Figura 15 mostra, à esquerda, as bases de dados dos fornecedores e a replicação de tais dados para a base de dados relacional *Smart Cities* da solução i9ITS, localizado à direita. A replicação das informações foram realizadas por meio da invocação dos métodos disponibilizados pelas aplicações dos fornecedores na solução i9ITS. Para cada tupla existente na base de dados dos fornecedores durante o período de teste havia uma tupla inserida na base de dados *Smart Cities*. Vale ressaltar que, para o estudo de caso específico, apenas uma empresa transmitiu os dados por meio da invocação do método *sendLocationGeneric* e a sua aplicação foi testada utilizando a mesma rede de servidores da Tabela 6.

#### 4.1.4.2 Análise da eficiência

Na perspectiva da eficiência, foi obtido, a partir da biblioteca cliente da *API* i9ITS, o tempo de cada requisição realizada e calculada a média diária. Tomou-se como métrica a análise do tempo de requisição, na qual valores menores ou iguais a 169 milissegundos foram considerados como “Sucesso”. A “Falha” foi considerada tomando como base a soma do desvio padrão diário e a média diária, ou seja, tempos de requisições superiores a esse limiar. A Tabela 8 mostra os resultados obtidos através dessa análise.

Tabela 8 – Coleta de dados realizada para análise da eficiência da solução i9ITS aplicada no estudo de Caso.

Data de Coleta	Requisições	Sucesso	Falha	Tempo médio de Requisições (ms)
14/11/2015	62.500	60.625	1.875	124
15/11/2015	8.789	8.492	297	123
16/11/2015	245.312	240.127	5.185	122
17/11/2015	249.277	244.122	5.155	122
18/11/2015	247.233	241.909	5.324	121
19/11/2015	313.967	306.769	7.198	122
20/11/2015	285.053	279.563	5.490	121
21/11/2015	197.671	193.035	4.636	122
22/11/2015	35.197	34.221	976	123
23/11/2015	285.511	279.350	6.161	122
24/11/2015	345.931	339.160	6.771	121
25/11/2015	228.171	223.931	4.240	122
26/11/2015	279.380	273.402	5.978	121
27/11/2015	299.175	291.428	7.747	122
28/11/2015	257.847	251.808	6.039	122
29/11/2015	75.369	73.356	2.013	122
30/11/2015	311.443	305.434	6.009	121
01/12/2015	329.675	321.745	7.930	121
02/12/2015	364.628	356.576	8.052	121
03/12/2015	369.806	362.242	7.564	121
04/12/2015	319.518	312.759	6.759	121
05/12/2015	318.054	311.564	6.490	121
06/12/2015	24.522	23.766	756	122
07/12/2015	321.641	314.638	7.003	121
08/12/2015	80.731	78.747	1.984	122
09/12/2015	291.658	284.616	7.042	121
10/12/2015	307.172	299.266	7.906	122
11/12/2015	336.671	330.278	6.393	122
12/12/2015	303.353	296.125	7.229	122
13/12/2015	80.764	78.568	2.196	122
14/12/2015	304.512	297.253	7.259	122

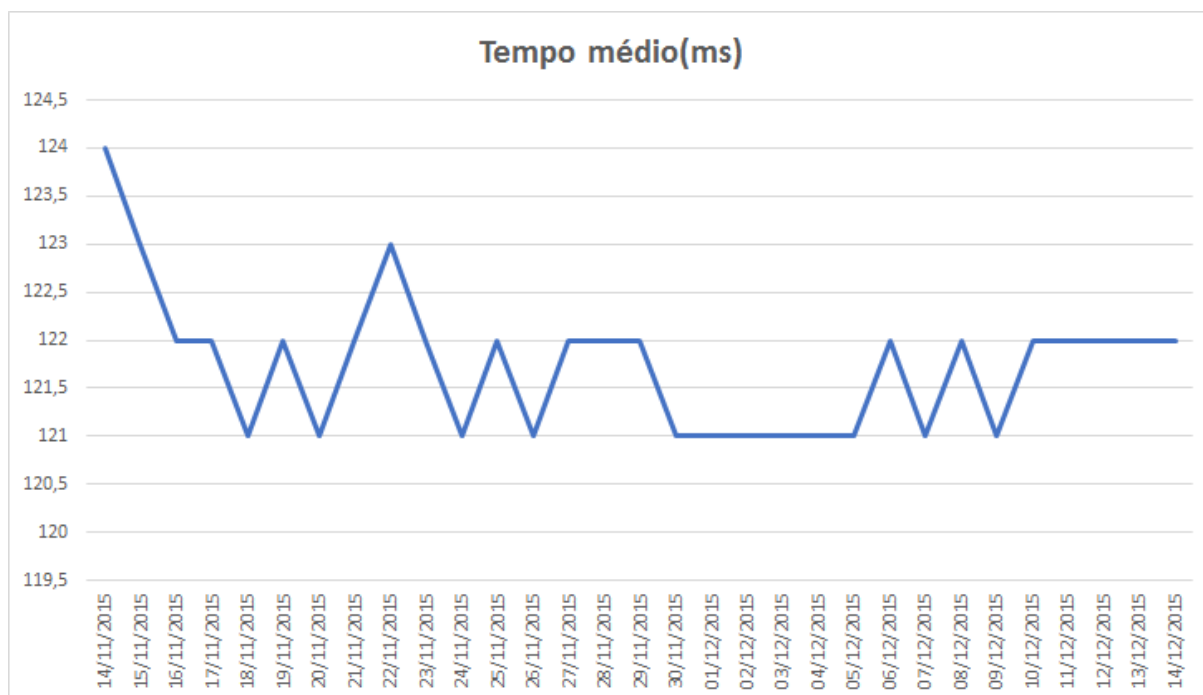


Figura 16 – Duração média de solicitações que ocorreram entre a app georreferenciamento e a solução i9ITS. (Fonte: Autores)

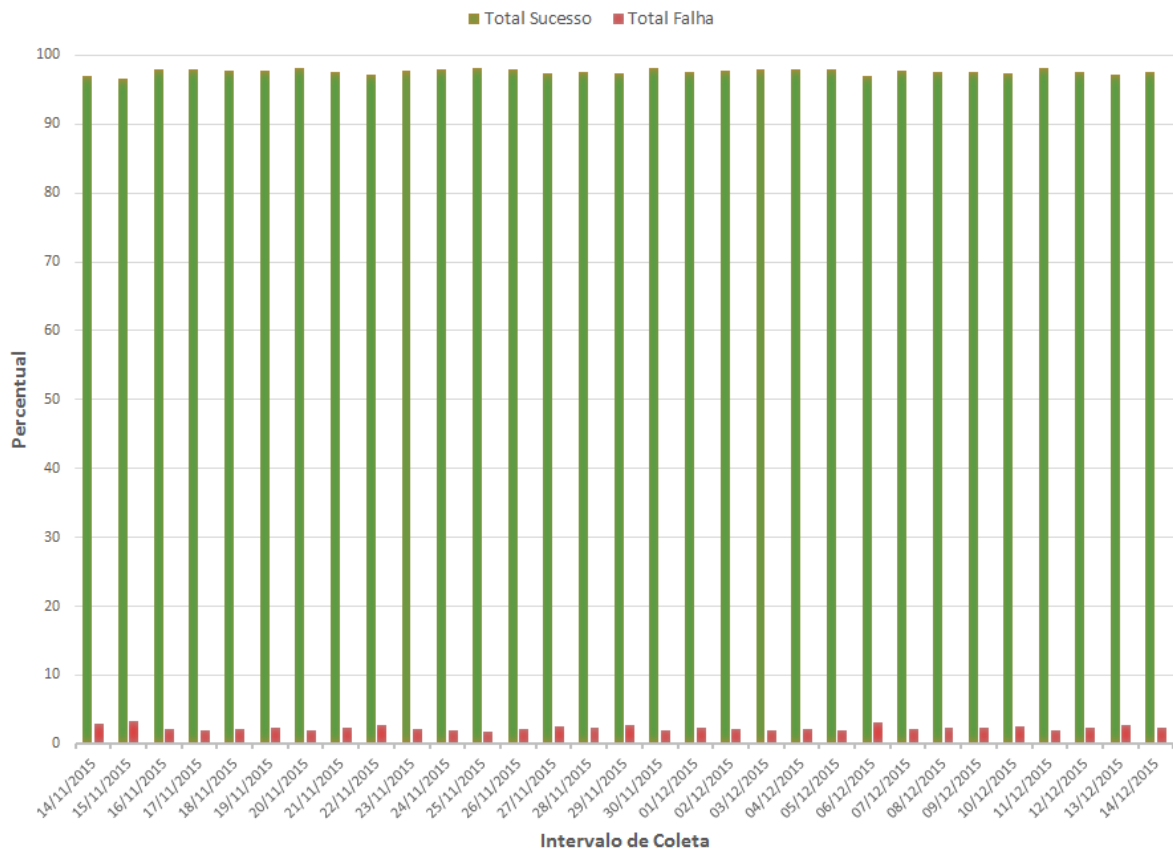


Figura 17 – Taxa de Requisição de sucesso e falha que ocorreu entre o aplicativo de georreferenciamento e a solução i9ITS (Fonte: Autores)

A Tabela 8 mostra que durante os dias de coleta de dados foram identificadas falhas de 2,34% em média nas requisições feitas entre a aplicação de georreferenciamento e a solução i9ITS. Observa-se também que houve uma queda no total de requisições em função dos domingos e feriados existentes no intervalo de coleta realizado. A Figura 17 exibe o resultado obtido sobre a visão percentual das requisições realizadas, reforçando que o percentual de Sucesso foi satisfatório em relação ao número encontrado (LU et al., 2009).

Foi observado, também, que não houve registro de aumento de processamento na aplicação do fornecedor. Os dados obtidos demonstraram que todas as requisições enviadas pela aplicação de georreferenciamento, foram processadas corretamente a um tempo médio de 123 milissegundos (Figura 16). A taxa de falha em média ficou abaixo de 3%, levando-se em consideração variações de velocidade no link entre os servidores, o percentual obtido foi satisfatório, tornando viável o uso dessa abordagem de forma contínua.

## 4.2 Estudo de caso II

Segundo o [Denatran \(2015\)](#) (Departamento Nacional de Trânsito), o município de Aracaju (SE), Brasil, possui 282.787 veículos, entre eles, estão inseridos: automóveis, caminhões, ônibus e motocicletas. Considerando a população que se deseja investigar e o erro máximo tolerante para validação da solução, foi obtido um tamanho de amostra necessária para essa pesquisa de 246.

Para o cálculo da amostra a seguinte fórmula foi utilizada:

$$n = \frac{N \cdot Z^2 \cdot p \cdot (1 - p)}{Z^2 \cdot p \cdot (1 - p) + e^2 \cdot (N - 1)}$$

Figura 18 – Cálculo da amostra. Fonte: ([SANTOS, 2017](#))

Onde:

n - amostra calculada

N - população

Z - variável normal padronizada associada ao nível de confiança

p - verdadeira probabilidade do evento

e - erro amostral

Com o intuito de analisar o comportamento da solução proposta, foram realizados novos testes simulando um número de veículos por faixas igual ou maior que o tamanho da amostra obtida.

O experimento do estudo de caso II avaliou a solução i9ITS por meio do modelo GQM (*Goal Question Metric*) muito usado para planejar medições em projetos de *softwares* ([SOLINGEN et al., 2002](#)).

As seguintes fases foram analisadas durante o processo de avaliação: fase de planejamento, de coleta de dados e de interpretação dos resultados.

### 4.2.1 Planejamento

A fase de planejamento teve como objetivo analisar a solução i9ITS avaliando a sua eficiência no que se refere ao tempo de latência e a capacidade de processamento, sob o ponto de vista da coleta de dados no contexto de sistema de transporte inteligente.

O experimento teve também como objetivo ajudar aos desenvolvedores de soluções que pretendem criar e/ou explorar uma base de dados aberta com informações sobre mobilidade urbana, com foco em cidades inteligentes. Por meio deste estudo, foi possível avaliar a capacidade

de processamento do servidor e medir o tempo de latência das comunicações, por meio da seguinte pergunta:

- Qual a latência média de cada requisição?

Para isso, serão utilizadas as seguintes métricas:

- Tempo de latência da comunicação
- Tempo médio de latência diária

### 4.2.2 Coleta de dados

Para realização da coleta de dados, foram utilizados três computadores, visando simular a quantidade de veículos suficientes por meio de um software emulador. Para esta análise, considerou-se que cada software emulador cliente fizesse o papel do fornecedor na solução i9ITS. A Tabela 9 mostra a configuração de cada equipamento utilizado nos testes.

Tabela 9 – Configuração dos equipamentos clientes envolvidos no processo de avaliação

Cliente	Sistema Operacional	CPU	RAM
<i>Software Emulator</i>	Ubuntu 14.04	Core i7 CPU 2.0 GHz	8 GB
<i>Software Emulator</i>	Windows 10	Core i5 CPU 2.5 GHz	4 GB
<i>Software Emulator</i>	OS X El Capitan	Core i5 CPU 2.7 GHz	8 GB

Este estudo procurou avaliar a solução i9ITS simulando quatro tipos de amostras para análise gradativa dos dados. Cada elemento da amostra transmitiu sua coordenada georreferenciada a uma periodicidade de 15 segundos durante 30 minutos ininterruptos. Durante os testes verificou-se que esse período de tempo ininterrupto foi suficiente para atingir o limite de requisições na coleta de dados em cada amostra.

Para a simulação, foi construído um software emulador na plataforma Java versão 1.8, com a função de instanciar várias *threads*, permitindo realizar requisições simultâneas necessárias para a coleta na solução i9ITS. O intuito foi avaliar a aplicabilidade da solução, realizando sucessivas requisições através do método *sendLocalizationGeneric*, utilizando dados de geolocalização por meio de um ambiente de teste, para simular o cenário de entrada de dados.

Os dados foram obtidos a partir de uma simulação realizada no ambiente *in virtuo* e *in vitro* de pesquisa do IFS (Instituto Federal de Sergipe - Brasil). Com esses dados, foi realizada uma avaliação estatística, por meio de testes, sendo cada amostra agrupada na seguinte ordem: A250, A500, A750 e A1000. Durante os testes foram colhidos dados de acordo com a seção de planejamento GQM.

As Figuras 19 e 20 demonstram os resultados obtidos neste estudo.

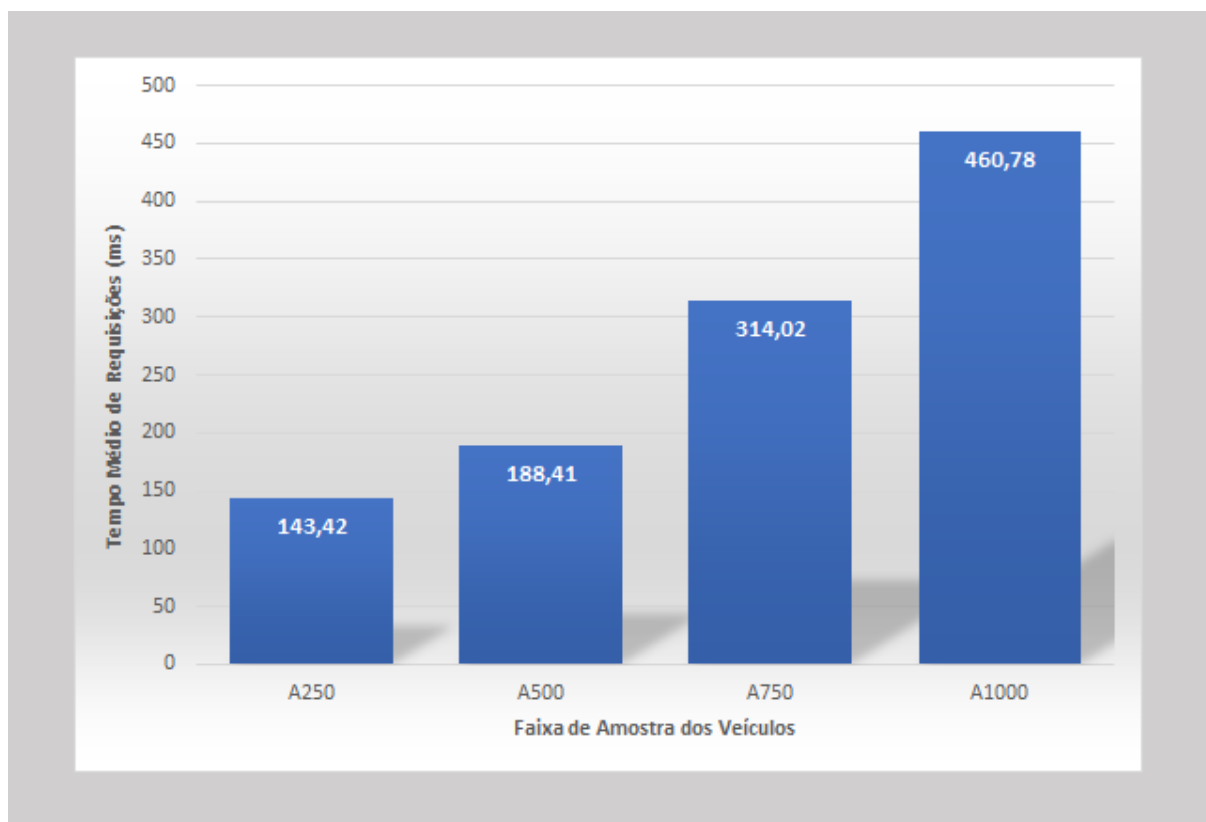


Figura 19 – Tempo médio de requisições por faixa de veículos (Fonte: Autores)



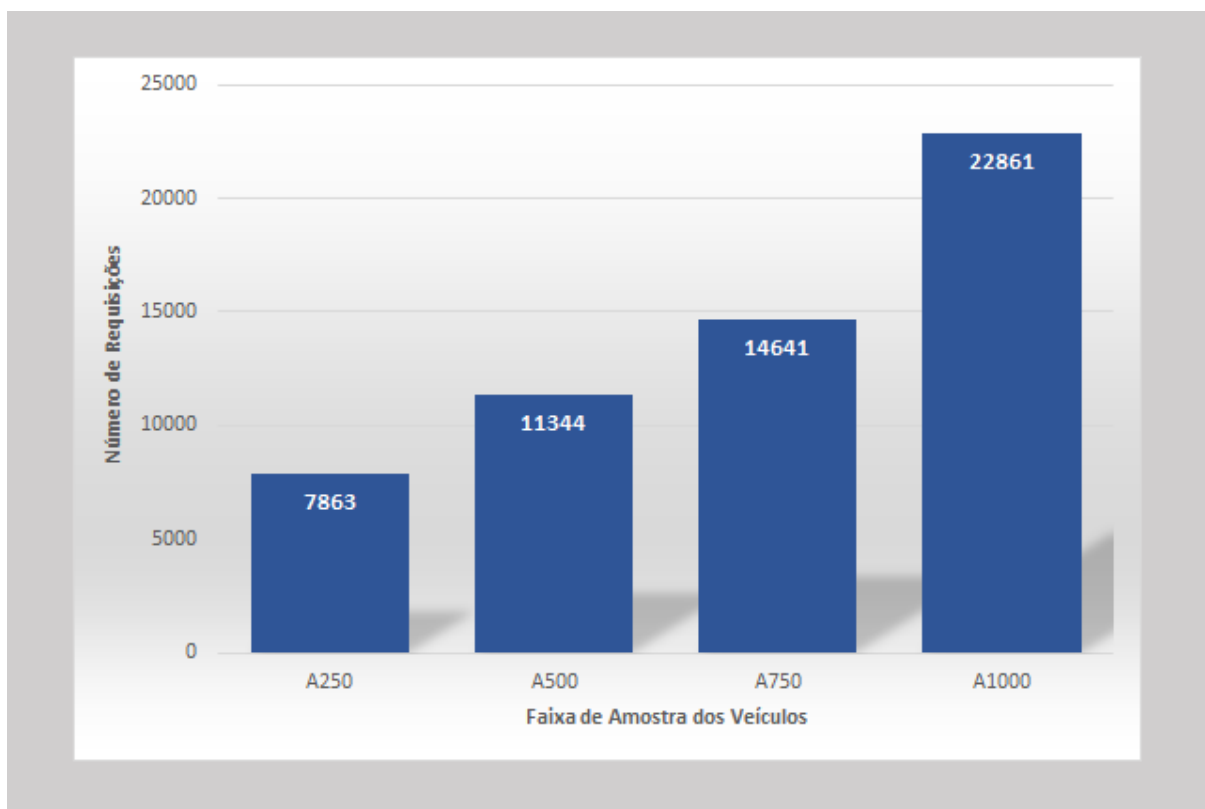


Figura 20 – Número de requisições por faixa de veículos (Fonte: Autores)

### 4.2.3 Análise dos Resultados Obtidos

A interpretação dos resultados foi realizada sob a avaliação da mesma perspectiva do estudo de caso I: a eficácia e a eficiência.

Para realizar a interpretação da solução sob a perspectiva da eficácia, foram estabelecidos os mesmos critérios adotados no estudo de caso I e o resultado obtido indicou que 97% das requisições foram armazenadas também com sucesso. Foi percebido que a margem de perda relatada aconteceu no teste que utilizou a maior faixa (A1000), ou seja, quando o número de requisições simuladas atingiu os maiores picos.

Sob a perspectiva da eficiência, foi obtido o tempo de latência de cada requisição realizada. Observou-se que houve uma variação muito grande entre as requisições considerando-se as faixas de teste utilizadas. Essas observações que apresentaram um grande afastamento das restantes (*outliers*) foram desconsideradas. A Figura 19, representando o tempo médio de requisições em milissegundos, demonstra que esse tempo foi proporcional à quantidade de veículos utilizada no teste até as primeiras três faixas. Entretanto, houve um aumento considerável no tempo médio na última faixa (A1000). Essa latência, provocada a partir dessa etapa, afetou diretamente na baixa de requisições pode ser observado na Figura 20.

As Figuras 21, 22, 23 e 24 representam a análise da variação de uma variável dentre

diferentes grupos de dados. Conforme a tabela comparativa 10, é notável que em todas as faixas a maior parte dos dados ficaram concentrados entre os valores de 100 e 400. A faixa A250 foi a que teve o tempo de latência com menor variabilidade, e a faixa A1000 foi a que teve com maior variabilidade.

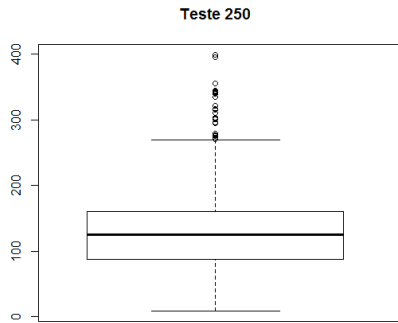


Figura 21 – Boxplot A250 veículos

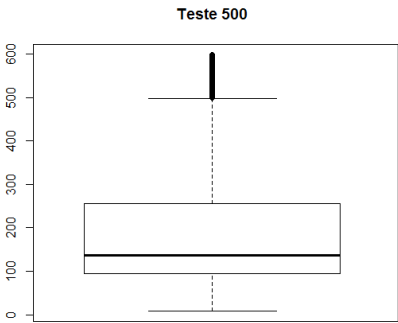


Figura 22 – Boxplot A500 veículos

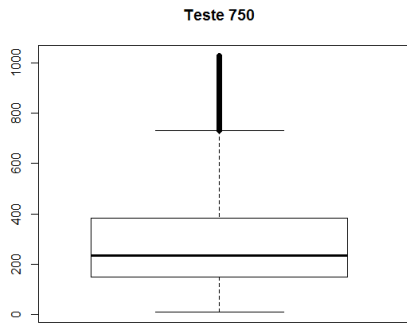


Figura 23 – Boxplot A750 veículos

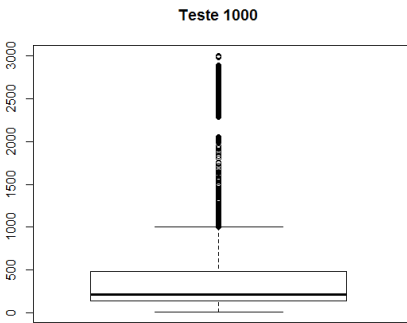


Figura 24 – Boxplot A1000 veículos

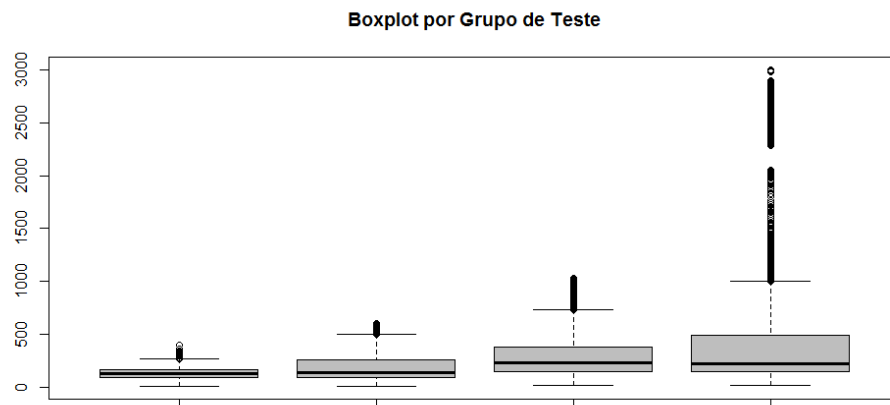


Figura 25 – Boxplot comparativo das faixas de veículos

Tabela 10 – Tabela comparativa

Amostra	Lim. Inf.	1º Quartil (Q1)	Mediana (Q2)	3º Quartil (Q3)	Lim. Sup.
A250	9,0	87,0	125,0	160,0	399,0
A500	9,0	94,0	137,0	256,0	598,0
A750	11,0	150,0	234,0	382,0	1027,0
A1000	13,0	142,0	219,0	487,0	2999,0

Inicialmente, os dados colhidos, referentes à latência, foram analisados e avaliados quanto à sua distribuição normal, para verificar se a distribuição de probabilidade associada às amostras pode ser aproximada utilizando o teste de *Kolmogorov-Smirnov*.

Em estatística, o teste *Kolmogorov-Smirnov* é usado para determinar se duas distribuições de probabilidade subjacentes diferem uma da outra ou se uma das distribuições de probabilidade subjacentes difere da distribuição em hipótese, em qualquer dos casos com base em amostras finitas. O nome é uma referência aos matemáticos russos *Andrey Kolmogorov* e *Vladimir Ivanovich Smirnov*.

Sendo assim, foram levadas em consideração as seguintes hipóteses:

H0: As médias de requisições seguem uma distribuição normal.

H1: As médias de requisições não seguem uma distribuição normal.

As Figuras 26, 27, 28 e 29 mostram o teste de normalidade de *Kolmogorov-Smirnov* realizado pelo software Minitab, o qual apresenta os dados coletados nas faixas de A250, A500, A750 e A1000 veículos respectivamente.

O resultado do teste de *Kolmogorov-Smirnov*, aplicado em cada uma das quatro amostras, indica que nenhuma das amostras apresentou uma distribuição normal a um nível de significância, comumente utilizado, de 0,05, que é o mais adotado na literatura. Dessa forma, rejeitou-se a hipótese  $H_0$ , como mostrado na Tabela 11, que aponta que a distribuição de probabilidade associada às amostras não podem ser aproximadas, ou seja, com o p-Value abaixo do nível.

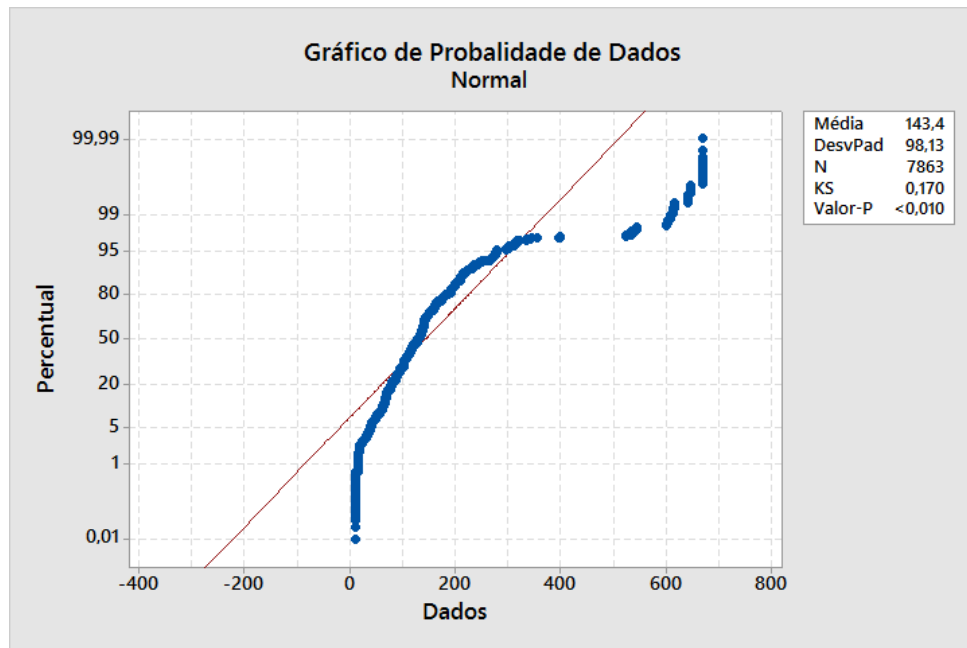


Figura 26 – Teste com 250 veículos (Fonte: Autores)

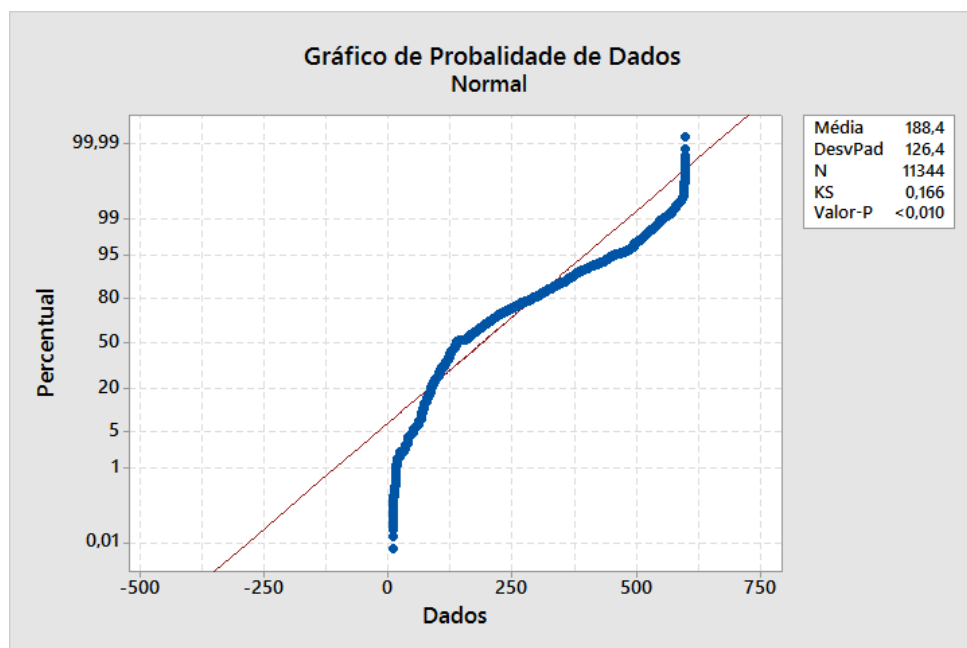


Figura 27 – Teste com 500 veículos (Fonte: Autores)

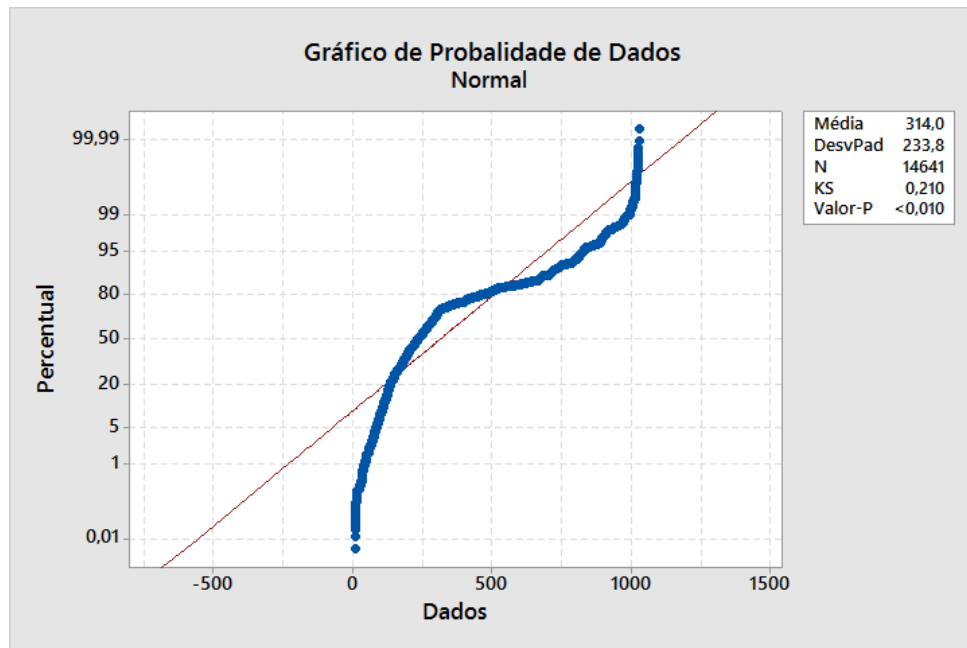


Figura 28 – Teste com 750 veículos (Fonte: Autores)

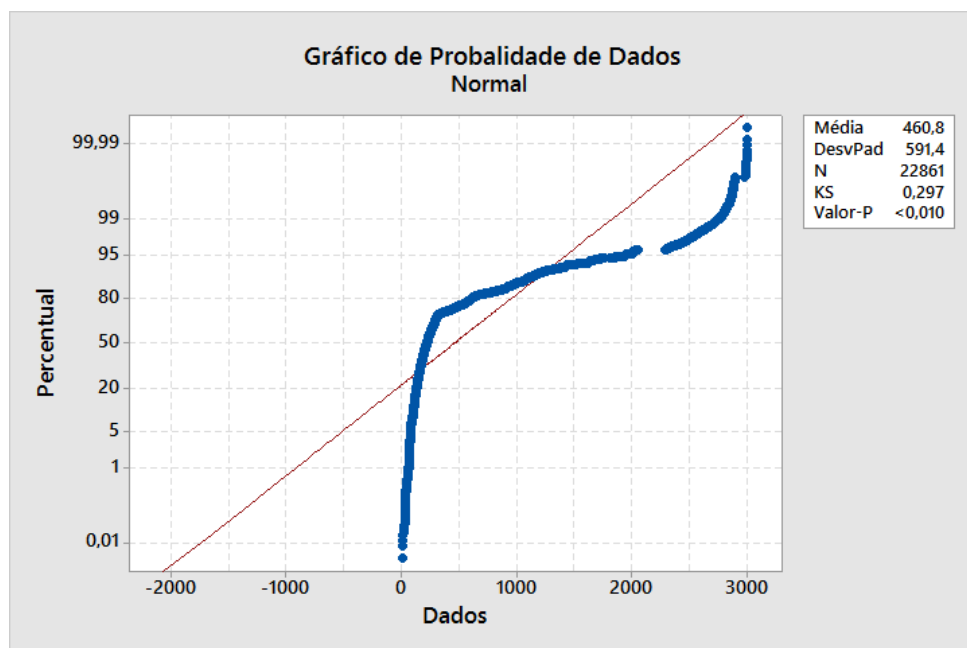


Figura 29 – Teste com 1000 veículos (Fonte: Autores)

Tabela 11 – Resultado do teste KS.

Amostra	N	Distância	Média	Desvio Padrão	Valor-P
A250	7.863	0,1703	143,42	98,13	<0,05
A500	11.344	0,16615	188,41	126,43	<0,05
A750	14.641	0,20989	314,02	233,83	<0,05
A1000	22.861	0,29684	460,78	591,36	<0,05

Outra análise a ser realizada é sobre a hipótese de que o coeficiente de variação (CV) é próximo entre as amostras com diferença inferior a 0,05.

Sendo assim, temos como hipóteses:

H0: As variações de latências das amostras são próximas.

H1: As variações de latências das amostras são distantes.

A Tabela 12, mostra os coeficientes de variação das amostras. Os CV foram encontrados como resultado da divisão do desvio padrão com a média. Nota-se que calculando a diferença entre os CV, foi verificado que alguns resultados foram maiores que a margem definida. Com isso a hipótese nula será rejeitada.

Tabela 12 – Análise do coeficiente de variação das latências das amostras.

Amostra	Coeficiente de Variação
A250	0,6842142
A500	0,6710365
A750	0,7446341
A1000	1,2833891

Em relação aos histogramas de frequência as Figuras A250 (Figura 30), A500 (Figura 31), A750 (Figura 32) e A1000 (Figura 33) evidenciam diferenças quanto a sua distribuição, em ocorrência da quantidade de *threads* criadas e do cenário proposto para execução.

Analisando sob o aspecto do histograma de frequência das amostras, percebe-se semelhanças na distribuição dos dados entre todas elas, nas que apresentaram frequências semelhantes, ou seja, foi verificada uma maior frequência de latência na escala em torno de 100 a 400 ms. Entretanto, houve diferenças significativas entre os limites das latências. Nota-se que, apesar do aumento do número de veículos, a mudança na escala de frequência aconteceu de modo proporcional. Com isso, percebe-se um determinada faixa de limite na realização do teste quanto ao número de veículos. Por exemplo, no último teste realizado (A1000) houve uma alteração significativa na escala de frequência, assim como um aumento do tempo da latência. É fato ressaltar que o limite da solução tem relação direta com a infraestrutura física de hardware utilizada nos testes.

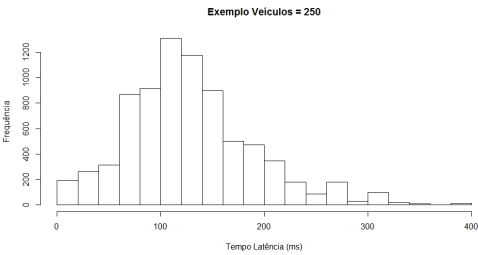


Figura 30 – Histograma de frequência (250 veículos).

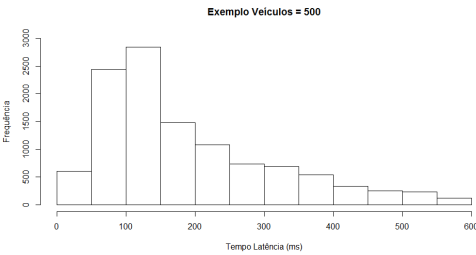


Figura 31 – Histograma de frequência (500 veículos).

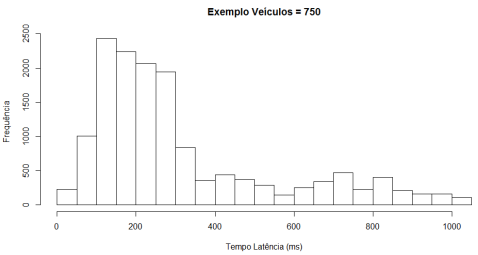


Figura 32 – Histograma de frequência (750 veículos).

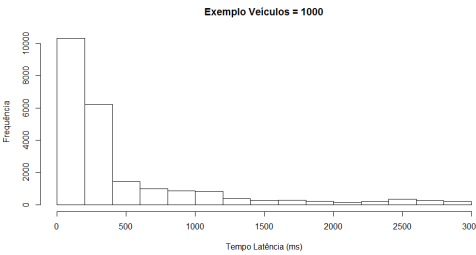


Figura 33 – Histograma de frequência (1000 veículos).

# 5

## Conclusão

O objetivo deste trabalho foi demonstrar a partir de estudos experimentais que a proposta de solução i9ITS, utilizando a abordagem SOA, promove uma solução para armazenamento e consequentemente disponibilização de informações de dados georreferenciados relacionados à mobilidade urbana, assim como a interoperabilidade de aplicações e seus desafios.

### 5.1 Sobre os Experimentos

Para evidenciar a importância da solução proposta foram realizados dois experimentos. O primeiro, chamado de estudo de caso I, experimento *in vivo*, teve a participação de uma empresa de central de táxi da cidade de Aracaju-SE com 120 veículos monitorados, que permitiu a integração com a solução i9ITS e a realização dos testes durante o período de 30 dias consecutivos. O segundo, denominado estudo de caso II, *in vitro e in virtuo*, teve o propósito principal de analisar o comportamento da solução utilizando métricas do modelo GQM e teste de aderência KS. Para o estudo de caso II, foi utilizado um software emulador em laboratório visando satisfazer o papel do fornecedor. Foram criadas algumas faixas de veículos com o objetivo de simular um cenário operacional gradativo.

No quesito eficácia, foi percebido que, no estudo de caso I, não houve perda de dados, porém, no caso II, houve um valor mínimo de perda de dados ocorrido durante os testes somente na última faixa de veículos, ou seja, quando utilizamos a faixa de testes simulando 1000 veículos. Considerando-se a probabilidade real de haver falhas de comunicação causadas por problemas de conectividade, faz-se necessária a criação de novos trabalhos como alternativas para confrontar e recuperar automaticamente as informações que não foram replicadas para a base smart cities da solução i9ITS, garantindo-se, assim, uma total eficácia. Ainda no contexto da eficácia, o estudo de caso I, que utilizou dados reais, foi estratégico principalmente para validar o esforço necessário de ajustes na aplicação do fornecedor para adaptação da solução i9ITS. Outro fator



a considerar foi o resultado bastante satisfatório no item “perda de dados”. Se comparado ao estudo de caso II, foi percebido que, no estudo I, a garantia de replicação se deu em função do número de veículos utilizados associado a sua infraestrutura disponível.

Sob o ponto de vista da eficiência, os testes aplicados à solução, tiveram um resultado com maior teor estatístico na abordagem do estudo de caso II, pois o cenário proposto permitiu uma maior escalabilidade, aumentando significativamente o número de veículos agrupados por faixas. As faixas indicaram um limite da solução proposta, pois foi observado que faixas superiores aos testes poderiam comprometer o tempo de resposta e, consequentemente, ao desempenho da solução. Logicamente, tal limitação está associada diretamente com os recursos de infraestrutura utilizados comumente em ambos os estudos de casos.

## 5.2 Contribuições

Como principais contribuições do trabalho, foi proposto um modelo de solução baseado num barramento de serviços para permitir o armazenamento de dados abertos e a interoperabilidade entre aplicações. Com isso, a plataforma sugerida contribuiu como proposta para os principais desafios relacionados à mobilidade urbana, tais como: a retenção de dados oriundos de diversos tipos de sensores, a integração entre aplicações ITS, e também, a confiabilidade e a privacidade destes dados.

O processo de avaliação aplicado à plataforma i9ITS, teve como público alvo desenvolvedores de soluções com foco em Sistemas Inteligentes de Transportes. Este processo de realização de testes no âmbito experimental e real, tornou a proposta de solução viável nos critérios de análise proporcionados pelos experimentos realizados. Os dados armazenados pela solução foram livremente disponibilizados para reutilização e redistribuição seguindo os princípios básicos *open data*, e também, em conformidade com a ISO 12859 e ISO 14813, em que trata de assuntos relacionados à privacidade, organização e classificação de serviços ITS respectivamente.

A Solução i9ITS foi definida de forma planejada, com todos os objetivos específicos alcançados. A abordagem SOA, por exemplo, proporcionou uma série de vantagens, entre elas, a flexibilização, a manutenibilidade e a integração com outros serviços, aplicativos ou sistemas legados ITS de terceiros (fornecedores). Outro aspecto relacionado ao tema de extrema importância e crucial para o sucesso deste trabalho foi a abordagem de dados abertos.

Portanto, após o exposto, os objetivos definidos para este trabalho foram atingidos por completo, visto que uma solução foi proposta e também validada. A abordagem de dados abertos juntamente com a proposta da arquitetura orientada a serviços foi prontamente atendida, como se segue:

- Foi planejado um modelo de solução baseado em um barramento de serviços que permitiu o armazenamento de dados e a interoperabilidade de aplicações.

- Foi construído um modelo de solução de *software* utilizando em sua totalidade ferramentas e linguagens no contexto de *softwares* livres.
- O autor realizou testes no âmbito experimental e real de modo a avaliar a eficácia e a eficiência da solução.
- Foram utilizados mecanismos para promover dados abertos de maneira que as informações armazenadas fossem livremente reutilizadas e redistribuídas em conformidade com a ISO 12859.
- Os serviços foram classificados e disponibilizados sobre um barramento de ITS em conformidade com a ISO/DIS ISO4813.

### 5.3 Publicações

Durante o desenvolvimento esta dissertação gerou uma publicação internacional e possibilidades de publicações futuras. O projeto do estudo de caso I foi publicado na *8th Euro American Association on Telematics and Information Systems* (EATIS 2016 - Qualis B3), observado no apêndice A. Recentemente, este mesmo trabalho, porém utilizando o novo estudo de caso II, juntamente com a aderência às normas ISO, foi encaminhado para análise em conferências de publicação internacional com foco em ITS. Outro artigo publicado relacionado ao tema ITS foi recentemente aprovado na *The Thirteenth International Conference on Wireless and Mobile Communications* (ICWMC 2017 - Qualis B3), conforme mencionado no apêndice B.

### 5.4 Trabalhos Futuros

Existem várias possibilidades de trabalhos futuros a partir deste estudo. Uma dessas possibilidades seria evoluir o catálogo de serviços da solução no intuito de possibilitar a retenção de informações de outros domínios ligados a cidades inteligentes (como, por exemplo, Saúde, Educação, Meio Ambiente, Segurança, Eficiência Energética, entre outros), para a disponibilização de dados abertos. Com o uso do georreferenciamento como ferramenta de gestão na saúde, é possível coletar dados referente a regiões mais afetadas por determinadas epidemias. Outro exemplo quanto a ampliação deste trabalho está na utilização de dados georreferenciais no domínio da segurança com o objetivo de aperfeiçoar e planejar ações do sistema público. Outro trabalho seria propor iniciativa relacionadas a construção de Ontologia e Taxonomia para os demais domínios de cidades inteligentes, assim como as normas existentes no contexto de ITS, visando a padronizar a disponibilização das informações dos mesmos via ESB e em portais de serviços. Uma outra possibilidade é construir algoritmos para detectar a confiabilidade dos dados retidos para verificar a autenticidade e sua qualidade, definindo se seriam considerados ou não, seria outra possibilidade, como também estudos para utilização de algoritmos de mineração

para solução de problemas relacionados à mobilidade urbana, tais como: Sistemas inteligentes de estacionamento através da análise das posições geográficas, identificando vagas disponíveis; sistema de gerenciamento de tráfego, permitindo prever possíveis áreas de congestionamento; e análise de eficiência do sistema de transporte coletivo, permitindo melhor distribuição da frota sobre as rotas.

# Referências

- AUGUSTIN, I. et al. Isamadapt: Abstractions and tools for designing general-purpose pervasive applications. software. *Practice & Experience*, p. 161–180, 2006. Citado na página 31.
- BARTLESON, K. The internet of things is a standards thing. 2014. Citado na página 34.
- BRAVO-TORRES, J. F. et al. Virtualization in vanets to support the vehicular cloud—experiments with the network as a service model. In: IEEE. *Future Generation Communication Technology (FGCT), 2014 Third International Conference on*. [S.l.], 2014. p. 1–6. Citado 4 vezes nas páginas 22, 23, 25 e 44.
- CALDAS, L. R. R.; VIEIRA, V. Desenvolvimento de uma solução sensível ao contexto como suporte a um sistema de transporte público inteligente. *Departamento de Ciência da Computação da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brazil*, 2010. Citado na página 31.
- CARVALHO, C. H. R. d. et al. Mobilidade urbana e posse de veículos: análise da pnad 2009. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (Ipea), 2010. Citado na página 14.
- CHANGYU, Z.; JIANYONG, C.; ZHENG, X. Beijing traffic data center based on soa, technology. In: *International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCASM 2010)*. [S.l.: s.n.], 2010. v. 15, p. 232–235. Citado 3 vezes nas páginas 22, 24 e 25.
- CHAPPELL, D. *Enterprise service bus*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2004. Citado 3 vezes nas páginas 8, 30 e 31.
- CHEN, R. et al. Differentially private transit data publication: a case study on the montreal transportation system. In: ACM. *Proceedings of the 18th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*. [S.l.], 2012. p. 213–221. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 25.
- CHICAGO, C. I. . T. U. of. *Array of Things*. 2017. <<https://arrayofthings.github.io/>>. Acessado: 19/01/2017. Disponível em: <<https://arrayofthings.github.io/>>. Citado 3 vezes nas páginas 22, 24 e 25.
- DEFINITION, O. *The Open Definition*. 2015. <<http://opendefinition.org/>>. Acessado: 11/11/2015. Disponível em: <<http://opendefinition.org/>>. Citado na página 32.
- DENATRAN. *Frota de Veículos em Aracaju*. 2015. <<http://www.denatran.gov.br/index.php/estatistica/257-frota-2015>>. Acessado: 30/07/2015. Citado na página 61.
- DINIZ, H. B.; SILVA, E. C.; GAMA, K. S. da. Uma arquitetura de referência para plataforma de crowdsensing em smart cities. 2015. Citado 4 vezes nas páginas 15, 22, 23 e 25.
- ENDREI, M. et al. *Patterns: service-oriented architecture and web services*. [S.l.]: IBM Corporation, International Technical Support Organization, 2004. 58 p. Citado 3 vezes nas páginas 8, 29 e 30.

FOUNDATION, O. K. *Open Data Handbook*. 2015. <<http://opendatahandbook.org/guide/en/>>. Acessado: 18/11/2015. Disponível em: <<http://opendatahandbook.org/guide/en/>>. Citado na página 32.

FROELIAN, E.; SANDHAUS, G. *Conception of implementing a Service Oriented Architecture (SOA) in a legacy environment*. [S.l.], 2012. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 28.

HERRERA-QUINTERO, L. F. et al. Wireless sensor networks and service-oriented architecture, as suitable approaches to be applied into its. In: ACM. *Proceedings of the 6th Euro American Conference on Telematics and Information Systems*. [S.l.], 2012. p. 301–308. Citado 3 vezes nas páginas 22, 23 e 25.

IERA ANTONIO; FLOERKEMEIER, C. M. J. M. G. The internet of things. 2010. Citado na página 34.

ISO12859. *Intelligent transport systems - System architecture - Privacy aspects in ITS standards and systems*. [S.l.], 2009. v. 2009. Citado na página 36.

ISO14813. *Intelligent transport systems - Reference model architecture(s) for the ITS sector - Part 1: ITS service domains, service groups and services*. [S.l.], 2015. v. 2015. Citado na página 37.

JAMES. *Dening open data*. 2016. <<http://blog.okfn.org/2013/10/03/defining-open-data/>>. Acessado: 11/02/2016. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 33.

KITCHENHAM, B. What's up with software metrics?—a preliminary mapping study. *Journal of systems and software*, Elsevier, v. 83, n. 1, p. 37–51, 2010. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 21.

KUIKKANIEMI, K. et al. From space to stage: How interactive screens will change urban life. *Computer*, IEEE, n. 6, p. 40–47, 2011. Citado na página 14.

LEITE, G. L. J.; NASCIMENTO, R. P.; MACEDO, D. D. J. i9vanets: Um modelo de arquitetura de software para rede veicular. *XVI Escola Regional de Computacao Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE)*, 2016. Citado na página 35.

LI, C. Travel information service system for public travel based on soa. p. 321–324, 2011. Citado 8 vezes nas páginas 8, 14, 17, 22, 23, 25, 35 e 36.

LOSILLA, F. et al. A comprehensive approach to wsn-based its applications: A survey. *Sensors, Molecular Diversity Preservation International*, v. 11, n. 11, p. 10220–10265, 2011. Citado na página 15.

LU, X. et al. Icomc: invocation complexity of multi-language clients for classified web services and its impact on large scale soa applications. In: IEEE. *Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2009 International Conference on*. [S.l.], 2009. p. 186–194. Citado na página 60.

MACKENZIE, C. M. et al. Reference model for service oriented architecture 1.0. 2006. Citado na página 30.

NAPHADE, M. et al. Smarter cities and their innovation challenges. *Computer*, IEEE, v. 44, n. 6, p. 32–39, 2011. Citado na página 15.

NASIM, R.; KASSLER, A. Distributed architectures for intelligent transport systems: A survey. In: IEEE. *Network Cloud Computing and Applications (NCCA), 2012 Second Symposium on*. [S.l.], 2012. p. 130–136. Citado 5 vezes nas páginas 15, 22, 24, 25 e 32.

NMEA. *NMEA 0183*. 2013. <<http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm/>>. Acessado: 12/05/2016. Citado na página 43.

OJO, A.; CURRY, E.; ZELETI, F. A. A tale of open data innovations in five smart cities. In: IEEE. *System Sciences (HICSS), 2015 48th Hawaii International Conference on*. [S.l.], 2015. p. 2326–2335. Citado na página 33.

ONU. *World Urbanization Prospects*. 2014. <<https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>>. Acessado: 25/03/2016. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.

PAPAZOGLOU, M. *web services: Principles and technology*. 2007. Citado 3 vezes nas páginas 17, 28 e 29.

RENYERE. *As dez cidades mais congestionadas do mundo; Brasil tem 3 no ranking*. 2016. <<http://www.gazetadopovo.com.br/automoveis>>. Acessado: 21/02/2017. Disponível em: <<http://www.gazetadopovo.com.br/automoveis/as-dez-cidades-mais-congestionadas-do-mundo-brasil-tem-3-no-ranking-eftpau3hzq7vqesj6l487ieq1>>. Citado na página 15.

SANTOS, G. E. d. O. *Cálculo amostral: calculadora on-line*. 2017. <<http://www.calculoamostral.vai.la>>. Acessado: 27/05/2017. Disponível em: <<http://www.calculoamostral.vai.la>>. Citado 2 vezes nas páginas 8 e 61.

SHOAB, M. et al. Development and implementation of nmea interpreter for real time gps data logging. In: IEEE. *Advance Computing Conference (IACC), 2013 IEEE 3rd International*. [S.l.], 2013. p. 143–146. Citado 3 vezes nas páginas 34, 35 e 43.

SOLINGEN, R. V. et al. Goal question metric (gqm) approach. *Encyclopedia of software engineering*, Wiley Online Library, 2002. Citado na página 61.

SUSSMAN, J. M. Its: A short history and a perspective on the future. *Perspectives on Intelligent Transportation Systems (ITS)*, Springer, p. 3–17, 2005. Citado na página 31.

TEAM, N. I. A. *Regional its architecture guidance*, u.s. department of transportation. 2001. Citado na página 14.

TTI, T. T. I. U. M. *Texas Transport Institute Urban Mobility Report 2014*. 2014. Acessado: 01/03/2017. Disponível em: <<http://d2dtl5nnlpfr0r.cloudfront.net/tti.tamu.edu/documents/ums/congestion-data/national/national-table1.pdf>>. Citado na página 15.

WOLFRAM, M. *Deconstructing smart cities: an intertextual reading of concepts and practices for integrated urban and ICT development*. [S.l.]: na, 2012. Citado na página 14.

ZHU, T.; LIU, Z. Intelligent transport systems in china: Past, present and future. p. 581–584, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 32.

# **Apêndices**

# APÊNDICE A – EATIS-B3

## An Architecture Proposal for the Creation of a Database to Open Data related to ITS in Smart Cities

Sérgio A. A. Barbosa  
Faculdade de Administração  
de Negócios de Sergipe  
(FANESE)  
Sergipe, Brazil  
saabarbosa@gmail.com

George Leite Júnior  
Instituto Federal de Sergipe  
(IFS)  
Sergipe, Brazil  
george.junior@ifs.edu.br

André S. Oliveira  
Instituto Federal de Sergipe  
(IFS)  
Sergipe, Brazil  
andre.stos.oliveira@gmail.com

Telmo O. de Jesus  
Instituto Federal de Alagoas  
(IFAL)  
Alagoas, Brazil  
jtelmooliveira@yahoo.com.br

Dr. Douglas D. J. de  
Macedo  
Universidade Federal de  
Santa Catarina (UFSC)  
Santa Catarina, Brazil  
douglas.macedo@gmail.com

Dr. Rogério P. C. do  
Nascimento  
Universidade Federal de  
Sergipe (UFS)  
Sergipe, Brazil  
rogerio@ufs.br

### ABSTRACT

As a result of population growth in large cities face every-day problems related to urban mobility such as congestion, quality of urban roads and inefficiency of public transport. Intelligent transport systems initiatives act as an efficient solution to improve the functioning and performance of traffic systems, reducing congestion and increasing safety for citizens. However, due to the inclusion of different and distributed information sources on urban mobility, interoperability of the various technologies involved and the retention of these data are challenges that involve complex and costly efforts to governments and businesses. Thus, this article presents a proposal for georeferenced data retention architecture of Intelligent Transportation System in order to store this information georeferenced urban mobility in order to allow perform these activities more easily, and to promote interoperability between various applications. Therefore, the proposal was i9ITS architecture based on Service Oriented Architecture. It conducted a case study related to building an application that uses the i9ITS architecture for a taxi service company with real data. The use of this architecture proved to be effective and efficient to meet the proposed problem, as well as other possibilities to meet the demands and challenges related to Intelligent Transportation System.

### CCS Concepts

•Information systems → Data management systems;  
Middleware for databases; Service buses;

### Keywords

smart cities, intelligent transport systems, service-oriented architecture, open data, enterprise service bus

### 1. INTRODUCTION

With the evolution of societies and the necessity of agility and efficiency when it comes to the access to services and information, the connectivity takes an essential role on this global and digital interaction. In this context, the smart cities gain space and present themselves as a viable path, as it was observed in studies which point out to the utilization of technologies in an urban context [10].

The connectivity inherent to the smart cities opens a very promising border with regard to the control of access to information [11] [18] and architectures distributed to intelligent transportation systems [13].

According to the IPEA (Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada), one of the problems of the urban centers, nowadays, is urban mobility. The reflections on urban transportation are evident, characterized specially by an increase of traffic on the city roads and consequently an increase of traffic jam situations [1].

An ITS (Intelligent Transportation System) represents [13] “the application of advanced sensors, computers, electronic devices and communication and integrated strategic management technologies aiming at the improvement of security and the efficiency of the traffic management system”.

The sources of TIC (Technology Information e Communication) generated by ITS form complex structures and produce a great volume of data, which present great challenges and opportunities, hindering the possibility of providing software which integrate information from sensors and which collect the physical space in real time. A possible approach to assist in the integration problem is the use of open data.

Open data can be understood as data which can be used freely by anyone. It is worth to highlight that open data initiatives are being realized by governments in all the levels, with the objective of increasing the transparency, capacitating properly the citizens, fomenting innovations and



repairing public services [11]. These initiatives converge with smart cities and diverse solutions are already a reality in cities like New York, Amsterdam, Helsinki, Chicago, Barcelona, Quebec City, Rio, Dublin, Nairobi and Manchester [11].

It is important to consider the importance of approaches in architectures of software systems to receive data related to information of urban mobility georeferencing, online form or batch, as well as an alternative to solve the lack of standardization of the formats in the receiving of such sources of data.

Inside this context, this article presents a proposal which use the paradigm SOA, which plans to receive information from urban mobility georeferencing available by intelligent transportation systems, through Webservices, to form an open urban mobility database. To verify the efficacy and efficiency of this proposal, it was performed a case study with data from a taxi service company in the city of Aracaju (SE) – Brazil.

This paper is organized as follows: in section 2 are described the works related to the themes of this study, in section 3 is mentioned the theoretical framework where relevant concepts and definitions are described, in section 4, information about the i9ITS architecture, in section 5, the case study that verifies the effectiveness and efficiency of the architecture proposed in a real application, in section 6 is made an analysis of the data and discussions obtained in the case study and finally, in section 7, the conclusion of this study, as well as the possible future work that could be realized.

## 2. RELATED WORK

Diniz, Silva and Gama [7] propose reference architecture, using shelf components (off-the-shelves), which implements a middleware platform for Crowdsensing solutions in smart cities. The proposed solution has as characteristics: being configurable for multiple domains, using complex event processing for data analysis in real time, integrating sensors through services (implementing SOA through RESTful Webservices using Javascript Object Notation (JSON)) and asynchronous messages (using event-driven architecture - EDA), as well as the use of human sensors through the use of Crowdsensing. They built an Android application for bike traffic accidents record for performing experiments in order to check the resistance and stability of the proposed approach and after the performed tests, they concluded that the results were satisfactory. However, this work depends entirely on data sharing through a participatory application, which involves the population in the collection of information.

Quintero et al. (2012) , use the WSN (wireless sensor networks) technologies and SOA for creating an application of ITS. The application consists of the location of unoccupied parking spaces in the University of Alicante (Spain). The authors mention that SOA has been used for integrating information in traffic centers, as well as in the integration of services for public transport and point out that both technologies were presented as suitable solutions for ITS. The combination of these technologies obtained better results with regard to safety, making possible the use in other ITS applications such as traffic management, public transport, fleet management, among others.

Li (2010) designs a system of TIS (Travel Information Ser-

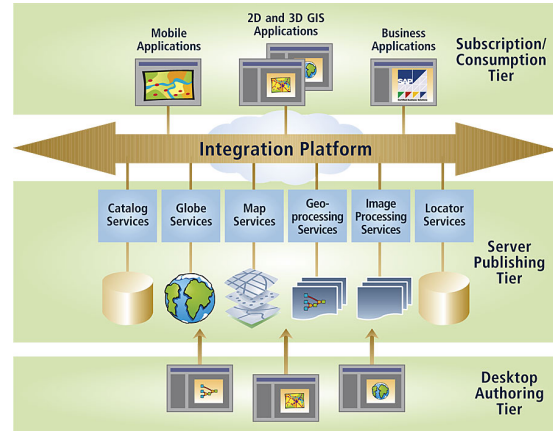


Figure 1: Example architecture SOA [4]

vice) distributed, based on SOA that enables service providers (bus companies, subway, train, gas stations) to share and retain their own resources in the platform. This system consists of four parts: traveler, integrated platform, TIS record and the service provider. The traveler shall no longer request information to the service providers directly, but to the integrated platform. The platform is responsible for identifying the necessity of the user to transform it into a certain type of service to meet the needs of the traveler. Then, the platform will call the appropriate services and synthesize the response results for the traveler. A simulation requesting a service in the city of Beijing was held. This approach has focused only on public transport services.

## 3. THEORETICAL BEANCHMARK

### 3.1 Service Oriented Architecture

In the literature, there are several definitions of SOA. In the context of this paper, SOA is defined as a paradigm of software architecture as well as IT infrastructure that supports and facilitates interoperability of data and distributed applications in diverse technologies [6]. Services are activities to perform business processes, defined as reusable and independent that encapsulate features which add value to those who use them [6]. Services are available on the Enterprise Service Bus (ESB) component, which, through it, it is possible to connect services and applications that will consume them.

There are several benefits of using an ESB [6], such as low coupling, well-defined service contracts, service abstraction, autonomy, reuse, composition and ease to be found, figure 1.

The types of services to be provided will depend on the application requirements and its technologies. The most common are [6]: Webservices and Representational State Transfer (REST).

### 3.2 Intelligent Transportation System (ITS)

ITS aims to support various everyday situations related to urban mobility, through the use of technologies and interoperability between communication systems, data trans-



Figure 2: Architecture Elements ITS [14].

mission and connectivity.

Its efficiency in the monitoring and agility in the distribution of information are essential for the results, with regard to the optimization of transport systems, to be felt by the general population that is part of this scenario which, as a result, allows a better management of the urban transport system [18] [13].

ITS [13] can be subdivided into six advanced management areas: Advanced Traffic Management System, Advanced Information Systems for Travelers, Public Transports Advanced Systems, Commercial Vehicles Operation Systems, Advanced Vehicle Control Systems, Electronic Toll Collection System.

All these subsystems, figure 2, are intended to act, in a targeted and specific form, upon sub-areas of transport management, seeking to ensure the efficiency and quality of urban mobility.

### 3.3 Open Data

According to the Open Definition [2], open data are data that can be freely used, reused and redistributed by anyone - subject, at most, to the requirement of attribution to the original source and sharing under the same licenses in which the information was presented. In other words, the opening of data is interested in avoiding a mechanism of control and restrictions on the data that are published, allowing both individuals and legal entities to exploit this data freely. From this perspective, the definition of open data presents three fundamental rules [5]: availability and access, reuse and redistribution and universal participation (areas of expertise and people / groups).

From the moment that there is a move to open data, where the three aforementioned core standards are respected, it is possible that different organizations and systems can work collaboratively. This happens due to the ability of these organizations and systems to interoperate data that were opened, expanding the communication and enhancing the efficient development of complex systems [8].

Ojo and Zeleti (2015) relate smart cities with open data. This relationship is performed through specialized data (transportation, education, health, etc.) and dynamic ecosystems, as open data impact on smart cities when there is impact of



Figure 3: Open data relationship information [9].

mastery and open government data as shown in figure 3.

## 4. PROPOSAL OF I9ITS ARCHITECTURE

The architecture called i9ITS, use the SOA approach and aims to facilitate interoperability between systems in an automated and manageable way whose purpose is to enable the entry and standardized collection of geo-referenced data in order to build an open database of urban mobility.

### 4.1 Overview

Therefore, some requirements must be observed in the construction of this architecture proposal: the use of data from covenant companies; consolidation, only of the relevant data to urban mobility; creation of a structure to store georeferencing data and consideration of data privacy.

The first requirement is to formalize agreements between companies wishing to use the proposed architecture. Through this agreement will be set up a restricted access so that these companies can insert data in the database.

The second requirement is aimed at defining the capture mechanism of the relevant data to urban mobility, excluding data that are not related to this context.

The third is to create a database capable of storing data related to georeferencing connected to urban mobility in order to allow the consolidation of this information for future provision of access on an open database.

The last requirement comprises the corresponding activity to the process of the overshadowing of identity of the georeferenced element to be inserted. The goal is to ensure data privacy avoiding the identification of the object corresponding to that coordinate. For this, will be used a conversion algorithm based on Message-Digest algorithm 5 encryption mechanisms (MD5 Hash Generator) to be applied on the identifiers given in the reception of the data. This step becomes necessary because the information is not derived only from government agencies, like most open data applications in the literature, so, for security reasons the monitored object must not be named.

### 4.2 i9ITS Architecture

The third-party geo- referencing applications (Fig. 1 (1)) collect geographic coordinate information from various sen-

sors that can be grouped and treated to provide important sources of information on urban mobility.

Considering this scenario, the i9ITS architecture comes as a proposal which predicts the reception and retention of such information, by using the SOA approach, using input methods, available by Webservices RESTful, to the services of Back-End module (Fig. 1 (2)).

The Back-End module (Figure 1 (2)) defines the input methods through RESTful Webservices (Figure 1 (2.a)), which is available in the catalog of services through the Enterprise Service Bus (ESB) middleware that coordinates the access to the synchronous services of Request / Response of the ITS application (Figure 1 (2.c)). Each ESB Webservices input method (Figure 1 (2.a)) is concerned with treating the types of processing, online or batch, as well as the definition of inputs of the geo-referenced data via NMEA (National Marine Electronics Association) pattern or not.

The `sendLocalizationBatch` method aims to deal with the batch type processing, by importing georeferenced data where it receives a file following a pre-defined layout pattern. The information outlined in this layout are: Token (text), Company Identifier (text), Vehicle Identifier (text), Latitude (decimal coordinate), Longitude (decimal coordinate), Altitude (numeric), Speed (numeric), Date / Hour (yyyyMMddHH-mmss - year month day hour minute second), Vehicle Type (entire) and Protected (logical). The information of the Company identifier, the Vehicle, Latitude, Longitude and Date / Time are mandatory. For the Type of Vehicle will be allowed the following information: 0 - Private Car, 1 - Taxi 2 - Bus, 3 - Collective Bus, 4 - Train 5 - Metro, 6 - Bicycle, 7 - Truck, among others.

For the online processing will be available the methods: `sendLocalizationNMEA` and `sendLocalizationGeneric`. The `sendLocalizationNMEA` method uses the standard NMEA [12] which defines communication of navigation electronic devices, through the GGA sentence, which contains 3D global positioning information (Latitude, Longitude and Altitude) [16]. The `sendLocalizationGeneric` method will be used to receive data from other devices that do not adopt the standard NMEA such as smartphones or OnBoard Unit (OBU) in VANETs needing to use the same batch file format standard, however, containing only a string of transmission.

To prevent unauthorized data input at the base, an authentication has been set for access to the ESB methods to be carried out by covenant companies, it was used the cross-domain authentication model [17]. This model defines a trust relationship between the client and the ESB, via a token to be sent to each call of the methods. The ESB is responsible for providing the method authenticationService however, is the responsibility of the Safety Application (Figure 4 (2b)), perform the authentication and token generation that will be passed on to the ESB and forwarded to the client application.

All methods provided by the ESB also have the token as a parameter, which is generated by authenticationService (Figure 1 (2.a)). AuthenticationService receives the identification data from the convened company and returns the token which must be informed in the call of the `sendLocalizationBatch`, `sendLocalizationGeneric` and `sendLocalizationNMEA` methods.

The ESB component (Figure 4 (2.a)) is responsible for the process of authentication of the supply company and validation of the number of parameters, making the request

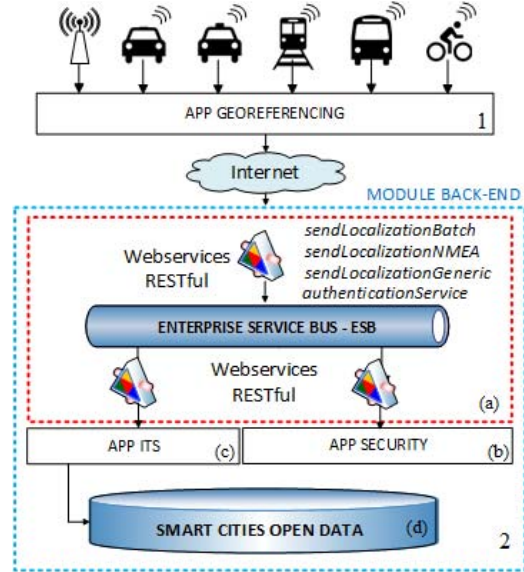


Figure 4: i9ITS Architecture (Source: Authors).

to be passed to the ITS application only if valid. It was also defined the obfuscating of the forwarded information (Company Identifier and Vehicle Identifier), transforming that data into encrypted information, thus ensuring the privacy requirement.

The ITS Application component (Figure 4 (2.c)) aims to address and consider the data received on the field of ITS, and to persist them in smart cities open data base (Figure 4 (2.d)).

## 5. CASE STUDY

The case study evaluated the effectiveness of the proposed architecture through the use of real geo-referenced data provided by a taxi service company in the city of Aracaju (SE) - Brazil.

Based on i9ITS architecture proposal, the Mule ESB middleware was used because it is an Enterprise Service Bus open source, it is extensible and has free version. For the HTTP data communication between the server and client applications it was used the JSON format implemented on the RESTful style because of its performance and simplicity.

A service was made available through the url <sup>1</sup> in order to receive the request from georeferencing applications suppliers, which will hold the process of dazzling of the referenced object identifier, and finally, the data will be sent to the application of ITS which will make the validation for the insertion into the base.

The process is initiated with the HTTP request (Figure 2 (1)) in which the obtained data are sent by the URL (token, idCompany, idVehicle, latitude, longitude, altitude, speed, dateTime, typeVehicle, protected) to the SetPayload component (Figure 2 (2)), then, these data are submitted to Java class (Figure 2 (3)), which aims to validate the token and

<sup>1</sup><http://www.i9frota.com.br:6061/sendLocationGeneric>

overshadow the id of the Vehicle and the company through the MD5 hash if the Protected parameter is true. After obfuscation, it is generated a string in JSON format to be sent to ITS Applications.

The result of the processing of the class is stored in the variable component (Figure 2 (4)). If the result returned by the JSON (Figure 2 (5)) is "error": true (Figure 2 (6)) it indicates that there was error in the processing and the flow is interrupted displaying the Failure message. Otherwise, the data are validated through a Java class (Figure 2 (7)) and the result of processing is stored in the Variable component (Figure 2 (8)). If the result returned by the JSON (Figure 2 (9)) is "error": true (Figure 2 (10)) it indicates that there was error in the processing and the flow is stopped displaying the Failure message. Otherwise, it is performed a request for the APP ITS application (Figure 2 (11)) passing the generated JSON, which will store in the open base returning the Success message.

This case study sought to validate the architecture using real data through a vehicle tracking system from a taxi company, which detects the location of 120 vehicles (each transmitting a coordinated georeferenced at a frequency of 30 seconds) for 15 consecutive days.

This taxi company manages requests through a cab monitoring system (Figure 6). These requests are collected and directed respecting the order of the first taxi driver in line in their respective mapped areas. The screenshot of the system displays the coordinates of the plotted vehicles in a specific area of the city of Aracaju (SE) - Brazil.

The objective was to verify the complexity in the change in the solution of the vendor to perform the integration and also to analyze the possible loss of performance. The change was made in the application of the supplier with the calling of the sendLocationGeneric method from the API client of the i9ITS architecture made in Java, in order to send the data online so that the open base represents the real-time information. The test environment was divided into three different servers in the cloud (hosting Server4you cloud), being two physical and one virtual.

For the assembly of the environment, Mule ESB Standalone 3.7 was used on one physical server whose configuration is described on Table 1.

As a repository of information on smart cities open data (Figure 4 (2c)), was used DBMS PostgreSQL 9.1 with PostGIS extension in order to store the use of geo-referenced objects, installed on a virtual server whose configuration is present in Table 1. In this repository were created two tables: OBL\_OBJECTID (stores the identifications of vehicles) and MOB\_MOVE\_OBJECT (stores the movements of vehicles).

For the execution of ITS App was used the physical server described in Table 1.

## 6. ANALYSIS OF RESULTS AND DISCUSSION

The analysis of results was performed from two perspectives: effectiveness and efficiency. On the effectiveness it was verified if the quantity of performed transmissions were successfully persisted in the smart cities open data database. With regard to efficiency, it dealt with the measuring of the time of each request on the basis of a successful metric as performed by the authors in [3].

**Table 1: Configuration Servers Involved in the Case Study**

Server	Operational System	RAM	Link
ESB Mule Standalone	Ubuntu 12.04 LTS - LAMP	8 GB	100 Mb/s
SGBD	VM -Ubuntu 10.04 - Plesk 11	2 GB	100 Mb/s
App ITS	Windows Server 2008 R2 Standard SP1	4 Gb	100 Mb/s

To perform the analysis of architecture from the perspective of effectiveness, consultations were held in the smart cities open data database, comparing the quantity of requests to the total of daily persisted records by georeferencing application from the provider. The obtained result indicated that all requests were successfully stored.

From the perspective of efficiency, it was obtained from the library client of the i9ITS API, the time of each request made and calculated the daily average. It was taken as a metric the analysis of the time of request where values less than or equal to 169 milliseconds will be considered "Success". The "failure" was considered taking as a basis the sum of the daily standard deviation and the daily average, in other words, requests times greater than this threshold. Table 2 shows the results obtained through this analysis.

Table 2 shows that during the days of data collection were identified failures on an average of 2,16% in requests made between the application of georeferencing and i9ITS architecture. Figure 7 shows the result obtained on the percentage view of the requests made, stressing that the success percentage was satisfactory in relation to the number found in [12] where it was made a comparison between webservices requests in different programming languages having the time of Java ranging between 50 and 150 ms.

It was also observed that there was no record of increase of processing in the application of the supplier. The data obtained demonstrated that all requests sent by Georeferencing Application were processed correctly at an average time of 123 milliseconds. The failure rate, in average, reached a value of up to 3%, taking into account the speed variations in the link among the servers, the percentage obtained proved to be a good result, making viable the use of this approach in a continuous manner.

## 7. CONCLUSIONS AND FUTURE WORK

It was possible to demonstrate, from the case study of integration with a taxi monitoring application, that the proposal of i9ITS architecture, using the SOA approach, promotes effectively and efficiently the retaining of information related to geo-referenced data of urban mobility.

Thus, it is concluded that the proposed architecture meets the performance requirements and efficiency of this case study, as well to other possibilities aiming to meet the demands and challenges related to ITS.

Finally, there are several possibilities for future work from this study. One of these possibilities would be to evolve this study in order to promote the retention of information from other domains related to smart cities (such as Health, Education, Environment, Security, Energy Efficiency, among others) for the provision of open data.

Other work would be to define the construction of Ontology

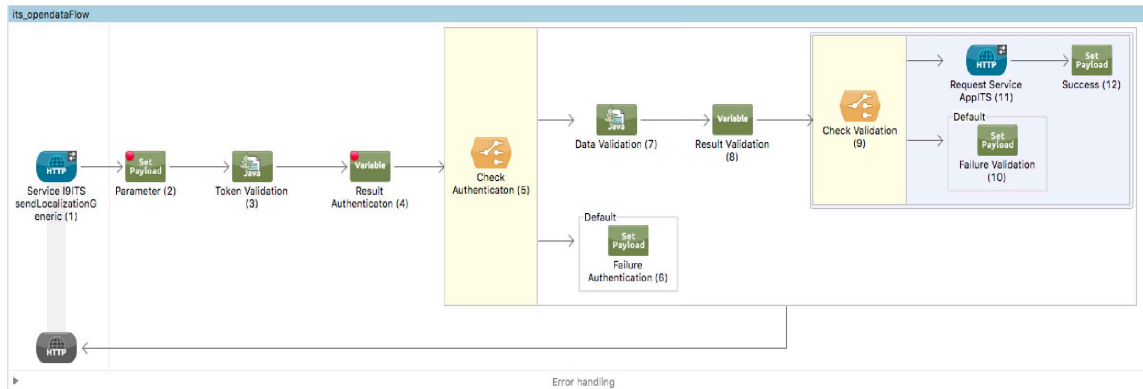


Figure 5: Execution flow in Mule Standalone ESB (Source: Authors).

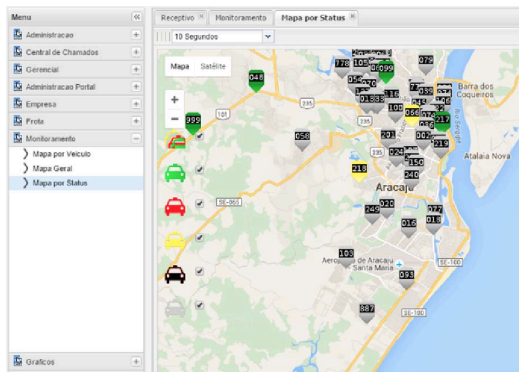


Figure 6: Screenshot of the cab monitoring system (Source: Authors)

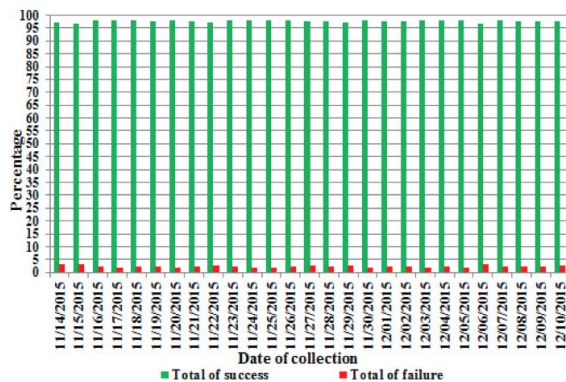


Figure 7: Rate of Success and Failure request that occurred between the Georeferencing Application and i9ITS architecture (Source: Authors).

Table 2: Data Collection Performed to the analysis of the Efficiency of i9ITS Architecture Applied in the Case Study.

Date of collection	Total of requests	Total of success	Total of failure	Average time of requests (ms)
11/14/2015	62.500	60.625	1.875	124
11/15/2015	8.789	8.492	297	123
11/16/2015	245.312	240.127	5.185	122
11/17/2015	249.277	244.122	5.155	122
11/18/2015	247.233	241.909	5.324	121
11/19/2015	313.967	306.769	7.198	122
11/20/2015	285.053	279.563	5.490	121
11/21/2015	197.671	193.035	4.636	122
11/22/2015	35.197	34.221	976	123
11/23/2015	285.511	279.350	6.161	122
11/24/2015	345.931	339.160	6.771	121
11/25/2015	228.171	223.931	4.240	122
11/26/2015	279.380	273.402	5.978	121
11/27/2015	299.175	291.428	7.747	122
11/28/2015	257.847	251.808	6.039	122
11/29/2015	75.369	73.356	2.013	122
11/30/2015	311.443	305.434	6.009	121
12/01/2015	329.675	321.745	7.930	121
12/02/2015	364.628	356.576	8.052	121
12/03/2015	369.806	362.242	7.564	121
12/04/2015	319.518	312.759	6.759	121
12/05/2015	318.054	311.564	6.490	121
12/06/2015	24.522	23.766	756	122
12/07/2015	321.641	314.638	7.003	121
12/08/2015	80.731	78.747	1.984	122
12/09/2015	291.658	284.616	7.042	121
12/10/2015	307.172	299.266	7.906	122

and Taxonomy to categorize and list the services available on this architecture and so standardize the availability of information from them via ESB and service portals. It is also possible to build algorithms to detect the reliability of the data retained to verify the authenticity and quality, defining



if they would be considered or not.

Studies to the use of mining algorithms to solve problems related to urban mobility such as smart parking Systems through analyzing the geographical positions identifying available spaces; traffic management system, allowing to predict possible areas of congestion; the public transportation system efficiency analysis, allowing a better distribution of the fleet on the routes.

## 8. ADDITIONAL AUTHORS

Additional authors: Frederico A. S. Gentil (Faculdade de Administração de Negócios de Sergipe -FANESE, email: fredgentil@gmail.com)

## 9. REFERENCES

- [1] C. H. R. d. Carvalho, B. A. Furtado, B. d. O. Cruz, R. Pereira, and M. d. P. Morais. Mobilidade urbana e posse de veículos: análise da pnad 2009. 2010.
- [2] O. Definition. The open definition. <http://opendefinition.org/>. Acessado: 11/11/2015.
- [3] H. B. Diniz, E. C. Silva, and K. S. da Gama. Uma arquitetura de referência para plataforma de crowdsensing em smart cities. 2015.
- [4] Esri. Esri's solutions for geospatial soa. <http://www.esri.com/news/arcnews/summer06articles/spatially-enabling.html>. Acessado: 18/02/2016.
- [5] O. K. Foundation. Open data handbook. <http://opendatahandbook.org/guide/en/>. Acessado: 18/11/2015.
- [6] E. Froelian and G. Sandhaus. Conception of implementing a service oriented architecture (soa) in a legacy environment. Technical report, ild Schriftenreihe Logistikforschung, 2012.
- [7] L. F. Herrera-Quintero, F. Maciá-Pérez, D. Marcos-Jorquera, and V. Gilart-Iglesias. Wireless sensor networks and service-oriented architecture, as suitable approaches to be applied into its. In *Telematics and Information Systems (EATIS), 2012 6th Euro American Conference on*, pages 1–8. IEEE, 2012.
- [8] S. Isotani and I. I. Bittencourt. *Dados Abertos Conectados*. Novatec Editora, 2015.
- [9] L. James. Defining open data. <http://blog.okfn.org/2013/10/03/defining-open-data/>. Acessado: 11/02/2016.
- [10] K. Kuikkaniemi, G. Jacucci, M. Turpeinen, E. Hoggan, and J. Müller. From space to stage: How interactive screens will change urban life. *Computer*, (6):40–47, 2011.
- [11] C. Li. Travel information service system for public travel based on soa. In *Service Operations and Logistics and Informatics (SOLI), 2010 IEEE International Conference on*, pages 321–324. IEEE, 2010.
- [12] X. Lu, Y. Zou, F. Xiong, J. Lin, and L. Zha. Icomc: invocation complexity of multi-language clients for classified web services and its impact on large scale soa applications. In *Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies, 2009 International Conference on*, pages 186–194. IEEE, 2009.
- [13] R. Nasim and A. Kassler. Distributed architectures for intelligent transport systems: A survey. In *Network Cloud Computing and Applications (NCCA), 2012 Second Symposium on*, pages 130–136. IEEE, 2012.
- [14] S. C. A. of Governments. Architecture elements. <http://www.scag.ca.gov/programs/Pages/ArchitectureElements.aspx>. Acessado: 11/02/2016.
- [15] A. Ojo, E. Curry, and F. A. Zeleti. A tale of open data innovations in five smart cities. In *System Sciences (HICSS), 2015 48th Hawaii International Conference on*, pages 2326–2335. IEEE, 2015.
- [16] M. Shoab, K. Jain, M. Anulhaq, and M. Shashi. Development and implementation of nmea interpreter for real time gps data logging. In *Advance Computing Conference (IACC), 2013 IEEE 3rd International*, pages 143–146. IEEE, 2013.
- [17] Z. Xiaorong. Cross-domain authentication model in soa based on enterprise service bus. In *Computer Engineering and Technology (ICCET), 2010 2nd International Conference on*, volume 5, pages V5–78. IEEE, 2010.
- [18] T. Zhu and Z. Liu. Intelligent transport systems in china: Past, present and future. In *Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2015 Seventh International Conference on*, pages 581–584. IEEE, 2015.

# APÊNDICE B – ICWMC-B3

## Systematic Review: Techniques and Methods of Urban Monitoring in Intelligent Transport Systems

Lima, S. F., Barbosa, S. A. A., Palmeira, P. C., Matos, L., Secundo, I., Nascimento, R.

Department of Post-Graduation in Computer Science

Federal University of Sergipe - UFS

Sergipe, Brazil

email: sergio@acad.unit.br; saabarbosa@gmail.com; priscilacopeland@gmail.com; lucas.matos.cc@gmail.com; ingrid.secundoo@gmail.com; rogerio@ufs.br.

**Abstract**— The process of urbanization and the formation of large urban complexes influence the increasing complexity for the planning, management and operation of urban mobility. Everyday problems related to urban mobility, such as congestion, quality of urban roads and inefficiency of public transport are evident, and can only be solved by the increase of technology and intelligence. Studies in Intelligent Transport Systems (ITS) act as an efficient solution to improve the functioning and performance of traffic systems, reducing congestion and increasing safety for citizens. With the objective of identifying and analyzing urban monitoring techniques, this article presents a systematic review of the monitoring techniques, in order to extract traffic behavior on the road in real time, making it possible to detect congestion, avoid accidents, among others Improvements to urban traffic. The significant benefit of this article includes a bibliographical research, based on the analysis of the problems related to ITS in function of the evolution, the variety and the complexity of technologies existing in the last years.

**Keywords**- ITS; Urban Monitoring; Open Data; Smart Cities.

### I. INTRODUCTION

With the growth of urban centers and the need for agility and efficiency in access to services and information, connectivity plays a key and essential role in this global and digital interaction. In this context, the "Digital Cities" gain space and present themselves as a viable path, as can be observed in studies that point to the use of technologies in an urban context [1].

One of the main problems of urban centers today is mobility. The connectivity inherent to the "Digital Cities" opens a very promising frontier with regard to the control of access to information, as can be seen in the works related to ITS in China [2][3] and the distributed ITS architectures [4].

An ITS represents "the application of advanced sensors, computers, electronic devices and communication technologies and integrated strategic management, aiming to improve the safety and efficiency of the traffic management system" [5]. This interconnectedness of the "Intelligent Cities", when applied to the control of urban mobility, aims at the search of the efficiency in the displacement and fluidity of traffic and, consequently, an improvement of quality for the people that interact in this system and depend, directly, of the efficiency and Quality of this environment.

According to Kim [6], "the speed of traffic is an important part in communicating the data. For engineers, this data complements other traffic information that reflects on road network performance and alerts of possible road traffic incidents. For drivers, the speed information reflects in the drivability. This is easily achieved, unlike other traffic data such as volume and density that are harder to relate to."

However, these sources of Information and Communication Technologies (TIC) form complex structures and generate a large volume of data, which present great challenges and opportunities, making it difficult to offer programs that integrate sensor information and capture the physical space in real time. It is worth mentioning that open data initiatives are being carried out by governments at all levels in order to increase transparency, empower citizens, foster innovations and reform public services [2]. These initiatives converge with "Smart Cities" and different solutions are already in place in cities such as New York, Amsterdam, Helsinki, Chicago, Barcelona, Quebec City, Rio, Dublin, Nairobi and Manchester at different rates and scales.

In this context, the present article presents monitoring techniques with the objective of contributing to a better understanding and enrichment for the state of the art in ITS. It is worth mentioning that using these techniques, urban monitoring, has been extremely efficient, allowing a right and fast response for the community's needs, especially on intervention in traffic flow and safety. The most types of equipment and technological monitoring solutions are available for the safety and well-being of society. Some related works cited in this review, address several techniques, whether they are carried out in a simulated environment or real-time environment, but most of them do not follow policies of effective urban control, formalized by laws, norms and monitoring, that allows the coexistence and harmony between citizens, respecting the space of all.

The structure of the article is organized as follows. In Section II, we consider the application of a systematic review to identify the techniques and methods of urban monitoring in ITS. In Section III, a literature review to confront authors addressing the subject proposed. In Section IV, an analysis and summary of selected papers about the subject researched. Section V shows the research findings.

## II. SYSTEMATIC REVIEW PROTOCOL

This section contains the protocol based on [7], which was used to apply the systematic review, whose focus of the searches, focused on the identification of the researches that present proposals related to techniques and methods of urban monitoring in ITS.

### A. Formulations of questions

Question: What are the techniques and methods of urban monitoring in ITS that use/not Open Data?

### B. Source Selection Criteria

Availability of query of articles in databases through the web (IEEE Xplorer, ACM Digital Library, DPLP Computer Science Bibliography), using the search field Title. The following search string used:

- (intelligent <and> transport <and> system) <and> (open <and> data) <and> (urban <and> monitoring)

### C. Criteria for inclusion of articles

- Articles should be available for download on the web;
- The articles found must present complete texts of the studies in electronic format;
- Articles should be described in English or Portuguese;
- Articles that have been published in the last 5 years (between 2011 and 2016);

### D. Preliminary screening process for primary studies

The search strategy will be applied for the identification of potential primary studies. With the studies researched, the title and summaries will be read. Given the relevance of a study, already highlighted in the abstract, it will be selected to be read in its entirety.

### E. Final selection process of primary studies

It consists of the complete reading of the selected studies in the preliminary selection stage. The reviewers will be responsible for making a general summary and considerations on the results observed in the selected studies.

## III. LITERATURE REVIEW

The ITS, aim to support the various everyday situations related to urban mobility, through the use of technologies and interoperability between communication systems, data transmission and connectivity.

Its efficiency in monitoring and agility in the distribution of information is essential so that the results regarding the optimization of transportation systems are felt by the general population that are included in this scenario, allowing a better management of the transportation system Urban [17], [18].

The ITS [18] can be subdivided into six advanced management areas: Advanced Traffic Management System, Advanced Traveler Information Systems, Advanced Public Transport Systems, Commercial Vehicle Operating Systems, Advanced Vehicle Control Systems, Electronic Toll Collection.

All these subsystems have the objective of acting in a specific and targeted manner on subareas of transportation

management, seeking to guarantee the efficiency and quality of urban mobility.

According to the Open Definition [19], open data is data that can be freely used, reused and redistributed by anyone - subject to at most the requirement of original source allocation and sharing by the same licenses in which the information was presented. In other words, the opening of data is interested in avoiding a mechanism of control and restrictions on the data that are published, allowing both individuals and corporations, to exploit this data freely. From this perspective, the definition of the term open data presents three fundamental norms [20]: availability and access, reuse and redistribution and universal participation (areas of action and people / groups).

From the moment that there is a movement to make data available, where the three fundamental norms mentioned above are respected, it is possible that different organizations and systems can work in a collaborative way. This is due to the ability of these organizations and systems to interoperate the data that have been opened, thus increasing communication and enhancing the efficient development of complex systems [21].

## IV. ANALYSIS AND SUMMARY OF SELECTED WORK

After the implementation of the Systematic Review Protocol (PRS), 83 scientific articles were initially identified (36 articles in the IEEE Xplorer, 28 in the ACM Digital Library and 19 in the DPLP Computer Science Bibliography), from the keywords used in the three databases. Data consulted. When the inclusion and exclusion criteria were applied in the reading of the title and abstracts of the articles, 6 articles were selected and analyzed in order to answer the two questions proposed in the PRS. The following is an overview of the work.

In [8], it is shown a platform that models and simulates applications within the scope of ITS. In the work is pointed out an open source framework, called iTETRIS, where it is formed by a set of other tools, each one having its specificities. These tools are: the Simulation of Urban Mobility (SUMO) framework that is responsible for simulating vehicle traffic; And a network simulator called the NS-3. In addition to these tools, there is a layer of control that does all management, keeping the data of each application synchronized. According to [8], the methodology used resources to analyze and manage applications, such as bus lane management, emergency vehicles, dynamic route planning, and the study of speed adaptation. This article also highlights the benefits that the framework can bring, such as reducing travel time, fuel economy or reducing pollutant emissions. Also mentioned are the characteristics that stand out over other works in the literature, where among these particularities mentioned in it, is the possibility of extending functionalities, precisely because it is an open source source. Despite the benefits mentioned in the article, it was not necessary to evaluate the studies in real environments, which would imply in the more loyal dimensioning of the results.

In [9], an approach is presented to monitor traffic in large urban areas using drone technology. The authors state that the use of this technology offers innumerable advantages,



such as: ease of access to irregular areas due to their small dimensions, coupling of several sensors to estimate general conditions of traffic in real time, independent monitoring of climatic factors, monitoring of offenders. The creation of cartographic models of road traffic structures, among others. According to [9], Global Positioning System (GPS) technologies, although with high open-pit accuracy, may be inefficient with respect to the signal in areas of dense urban shading. Thus, in the absence of GPS signals, an analysis was proposed on the drone control system using a bimodal structure. The bimodal scheme allows the performance in safe mode of navigation. In case of a malfunction, the system allows the equipment to remain or return to the point of origin, thus avoiding possible accidents on public roads. This prototype was successfully tested for the monitoring of the transport infrastructure of the city of Orel (Russia).

In the work presented by [10], an application was installed in the users' smartphone, where the personal data, the travel profile (origin, destination, purpose, location and time) and sensor data (GPS, time, and Accelerometer). During application operation, if your smartphone is connected to a power source and the connection is available, the data is automatically transmitted to the server. These collected data are analyzed for events such as congestion of frequent braking activities, speed and travel time variation. With this one can notify the drivers of the traffic condition and send driving recommendation so that they will be able to make informed decisions. Due to the smartphones used by the users of different brands and models, it resulted in the inconsistency of the data collected. This issue has to be resolved in future implementations.

The results of [11] are based on data from bus movements in the city of San Francisco. Data bus power is provided by NextBus to a number of cities in North America in XML. The attributes of interest are the position and speed of each vehicle along with its weather identifier and the bus identification number. In addition, bus route data and bus location locations were extracted from the same data stream. Fayazi et al. [11] also demonstrate the feasibility of timing estimation of fixed-time traffic lights, shows, for example, at intersections in the city of San Francisco the feasibility of estimating cycle time, red signal time, green signal start, Change of signal programming. The extensive use of filtering / preprocessing data is elementary to the successes found in [11]. It is noted that the influence of heavy traffic conditions on the prediction is not investigated in this work and neither are the adaptive signals.

Shi et al. [12] use the Bayesian Logic model to predict in real time the probability of an accident occurring, logistic regression models were evaluated under Bayesian conditions. Therefore, this statistical method is able to handle information from different sources. With the rapid development in Big Data, it is expected that new data sources can be incorporated into this modeling framework in the future.

Unlike other previous real-time traffic safety studies [12], it incorporates a reliability analysis to determine the conditions under which it is appropriate to trigger safety warnings on the expressway. The First-Order Reliability

Method (FORM) model was constructed based on the real-time fall forecast model and based on the critical point of the CI system, where volume and velocity were obtained. It was found that the average peak IC for failures per hour was equal to the congestion threshold, which suggested that when congestion is detected at a specific location, both congestion and safety warnings should be sent to drivers. Also in [12], a method of combined real-time congestion and safety monitoring in urban expressways was proposed through the Multipoint Video Distribution System (MVDS) system.

The work in [13] was designed to monitor urban traffic using the Markov model to measure the estimated traffic accuracy according to vehicle position and speed. This model takes into account the mean, variance, and correlation of the traffic in a particular stretch of road being mapped over a given period with the impact of granularity on the accuracy of traffic estimation so that we can measure the quality of service in the system through Granularity function.

According to dos Santos [14], method can be conceptualized as: rule, norm, search for truth, detection of errors in the attempt to achieve a desired goal. Some authors, in defining method, emphasize intelligence and talent in the way they perform tasks. Others focus on the aspects of order, path, security and economy in the accomplishment of an activity.

According to Lakatos et al. [15], among the various concepts of method we can mention: Method is the "path by which a certain result is arrived at, although that path has not been fixed in advance in a reflected and deliberate way" (Hegenberg, 1976).

Method is a way of selecting techniques, how to evaluate alternatives to scientific action. So while the techniques used by a scientist are the fruit of their decisions, the way in which such decisions are made depends on their decision rules. Methods are rules of choice; Techniques are their own choices " (Hegenberg, 1976).

Method is the way to proceed along a path. In science, methods are the basic tools that order the thought of systems in the first place, and in an orderly way the scientist's way of proceeding along a path to achieve an objective "(Trujillo, 1974)

The term already existed in classical Greek (*méthodos*), having been used by Plato and Aristotle in the sense of "ordered study of a philosophical or scientific question". The word can be decomposed into the prefix *metá* + *hodós*, which means path, path, route. In the generic sense, therefore, it is the "way by which a certain result is arrived at". In scientific terminology, method can be defined as a set of data and rules to proceed, allowing to reach a predetermined end.

According to [16], technique is a set of precepts or processes that serve a science or art; Is the ability to use these precepts or norms, the practical part. All science uses innumerable techniques in pursuit of its purposes.

From the Greek *tékhne*, art. If the method is the path, the technique is the walk mode. Technique implies the way of proceeding in its smallest details, the operationalization of the method according to standardized standards. It is a result of experience and requires skill in its execution. The same

method may involve more than one technique. The semantic difference between method and technique can be compared to that between gender and species.

In order to discover and analyze the techniques and methods most used in the selected articles, the techniques and the monitoring methods present in each article, set out in Table 1 and 2, were identified where the symbol "✓" indicates the existence of the observed characteristic:

TABLE I. MONITORING METHODS

Methods	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]
Traffic Management				✓	✓	
GPS monitoring		✓	✓			
Drone Monitoring		✓				
Camera Monitoring		✓				
Combined Real Time Monitoring					✓	

According to Table 1, it is possible to note that the most used methods are: "Traffic Management", with two articles; And "GPS monitoring", also with two articles. It is assumed that these characteristics were the most used, as they are responsible for managing the traffic and obtaining the location of the transport, respectively.

TABLE II. MONITORING TECHNIQUES

Techniques	[8]	[9]	[10]	[11]	[12]	[13]
Framework for simulating vehicle traffic	✓					
Markov model						✓
Open Data Approach	✓			✓	✓	
Use of Monitoring Software		✓	✓	✓	✓	✓
Data Mining			✓	✓		✓
Bayesian Inference					✓	
MVDS					✓	
PHP Web Interface Monitoring				✓		

With regard to the most used techniques shown in Table 2, we have: "Open Data", with three articles; The "Monitoring Software", with five articles; And the "Data Mining Technique", with three articles. It is assumed that these techniques were the most used for being responsible for obtaining traffic data in order to analyze and perform urban monitoring to find a better solution.

Buch et al. [22] presented some techniques of traffic analysis focusing on urban environments. As an example of the automatic observation for video through urban surveillance cameras, aiming to observe congestion, interaction of vehicles and check violations of traffic rules.

For this, different classifying algorithms, created in order to classify the vehicles and increase the capacity of detection level and tracking. The use of these cameras became feasible because of the reduction of the cost (hardware), causing a great ascendancy in the implantation of these cameras, making possible and facilitating the analysis of the urban traffic. This area have a great interest to ITS and offers several future challenges, such as some assessments in challenging weather conditions, among others.

Through the methods and techniques of urban monitoring in ITS we can demonstrate that there are several advantages related to our suggested approach. The innumerable advantages using technologies are increasingly improving the way in which we can use these techniques and methods for the development of field research. The advantages are monitoring traffic offenses, weather factors, locating vehicles by GPS, improving traffic congestion through traffic lights, etc.

We propose that ITS along with these methods and techniques described in this article, bring a better development in vehicle traffic monitoring so that we can differentiate alternative routes from vehicles in congested areas. ITS is increasingly improving through existing technologies in order to provide better distribution of vehicles on a given route. Monitoring methods and techniques are conducive to better tracking of alternative routes through applications that can assist vehicle drivers through these routes and demonstrate the estimated time of their commuting from one location to another.

## V. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this article, work related to the area of intelligent transport systems was considered. With the purpose of identifying and evaluating urban monitoring techniques. A systematic review was presented on the monitoring techniques, in order to extract traffic behavior on highways, making it possible to detect congestion, avoid accidents, among other improvements for urban traffic.

Due to the investigation, it was noticed how small a number of articles correlated with the search theme, this shows that the research area is relatively new and at the same time shows a research path to be explored.

## ACKNOWLEDGMENT

We would like to thank the Post-Graduation Department of Computer Science at UFS, for the support and encouragement of research and investigation with new technologies.

## REFERENCES

- [1] K. Kuikkaniemi, G. Jacucci, M. Turpeinen, E. Hoggan, and J. Müller. From space to stage: how interactive screens will change urban life. IEEE Computer Society, pp.40-47, 2011.
- [2] C. Li, Travel Information Service System for Public Travel Based on SOA. Beijing Jiaotong University, China, pp.321-324, 2010.
- [3] T. Zhu and Z. Liu, Intelligent Transport Systems in China: Past, Present and Future. IEEE ICMTMA, pp. 581-584, 2015.

- [4] National ITS Architecture team, "Regional ITS architecture guidance", U.S. department of transportation, 2001.
- [5] R. Nasim, and A. Kassler, "Distributed Architectures for Intelligent Transport Systems: A Survey", NCCA, pp. 130-136, 2012.
- [6] K. K. Chin, and C. W. Lee, Trafficscan —Bringing Real-time Travel Information to Motorists, Land Transport Authority, Singapore, pp.7-14, 2009.
- [7] S. N. Mafra, "Protocolo de Revisão Sistemática" Grupo de Engenharia de Software Experimental, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação (COPPE/UFRJ), 2005.
- [8] H. Jérôme, et al. 2011. Modeling and simulating ITS applications with iTETRIS. In Proceedings of the 6th ACM workshop on Performance monitoring and measurement of heterogeneous wireless and wired networks (PM2HW2N '11). ACM, New York, NY, USA, pp. 33-40, 2011.
- [9] B. Ilya, V. Vlasov, A. Demidov, and N. Kanatnikov, The Use of Multicopters for Traffic Monitoring in Dense Urban Areas. In Proceedings of the 2014 Conference on Electronic Governance and Open Society: Challenges in Eurasia (EGOSE '14). ACM, New York, NY, USA, pp. 42-44, 2014.
- [10] T. Zan, L. Gueta, and T. Okochi, "Enabling Technology for Smart City Transportation in Developing Countries". Conference Paper IEEE Smart City December 2015, pp.170-174.
- [11] A. S. Fayazi, A. Vahidi, G. Mahler, and A. Winckler, "Traffic Signal Phase and Timing Estimation from Low-Frequency Transit Bus Data". IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 16, no. 1, pp. 19 - 28, 2015.
- [12] Q. Shi and M. Abdel-Aty, "Big Data applications in real-time traffic operation and safety monitoring and improvement on urban expressways". Elsevier, Transportation Research part C, vol. 58, pp. 380 - 394, 2015.
- [13] C. Wang, H. Liu, K. L. Wright, B. Krishnamachari, and M. Annamaram, "A Privacy mechanism for mobile-based urban traffic monitoring". Elsevier, Pervasive and Mobile Computing, vol. 20, pp. 1 - 12, 2015.
- [14] I. E. dos Santos, Textos selecionados de métodos e técnicas de pesquisa científica. 4. ed., rev., ampl. e atual. Rio de Janeiro: Impetus, 2003. 363 p.
- [15] E. M. Lakatos and M. A. Marconi, Metodologia científica: ciência e conhecimento científico, métodos científicos .... São Paulo: Atlas, 1989. 231 p.
- [16] M. A. Marconi and E. M. Lakatos, Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisa: amostragens e técnicas de pesquisa .... 2. tiragem. São Paulo: Atlas, 1982. 205 p.
- [17] T. Zhu and Z. Liu, "Intelligent transport systems in china: Past, present and future," in Measuring Technology and Mechatronics Automation (ICMTMA), 2015 Seventh International Conference on. IEEE, 2015, pp. 581–584.
- [18] R. Nasim and A. Kassler, "Distributed architectures for intelligent transport systems: A survey," in Network Cloud Computing and Applications (NCCA), 2012 Second Symposium on. IEEE, 2012, pp. 130–136.
- [19] O. Definition. The open definition. <http://opendefinition.org/>. Acessado: 11/11/2015. [Online]. Available: <http://opendefinition.org/>
- [20] O. K. Foundation. Open data handbook. <http://opendatahandbook.org/guide/en/>. Acessado: 18/11/2015. [Online]. Available: <http://opendatahandbook.org/guide/en/>
- [21] S. Isotani and I. I. Bittencourt, Dados Abertos Conectados. Novatec Editora, 2015.
- [22] N. Buch, S. A. Velastin and J. Orwell. "A Review of Computer Vision Techniques for the Analysis of Urban Traffic". IEEE Transactions on intelligent transportation systems, Vol. 12. Nº 3, pp. 920-939, september 2011.